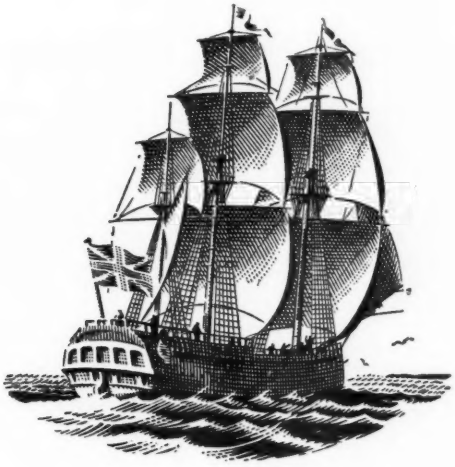
ENDEAVOUR

Revue trimestrielle destinée à tenir registre du progrès
des sciences au service du genre humain



VOLUME XVI · 1957

LISTE ALPHABÉTIQUE DES NOMS D'AUTEURS

ANDRADE, E. N. DA C.: Les anciennes pompes à vide. 29.
ARTICLES DE TÊTE
Heinrich Hertz (1857–1894). 3.
Vers l'unité des connaissances. 63, 229.
L'Année Géophysique Internationale a commencé. 123.
Un technologiste oublié: Réaumur. 183.
AUSTIN, C. R.: *Voir* BISHOP, M. W. H. et AUSTIN, C. R.

BATES, L. F.: Les domaines ferromagnétiques. 151.
BISHOP, M. W. H. et AUSTIN, C. R.: Les spermatozoïdes des mammifères. 137.
BOWDEN, F. P.: Adhérence et frottement. 5.
BRIAN, P. W. et GROVE, John Frederick: L'acide gibberellique. 161.

GROVE, John Frederick. *Voir* BRIAN, P. W. et GROVE, John Frederick.
GUTFREUND, H.: Nouvelles techniques d'étude des mécanismes enzymatiques. 217.

HINTON, Sir Christopher: Générateurs nucléaires de courant électrique. 65.
HUDSON, J. P.: L'alimentation en eau des végétaux. 84.

INGOLD, C. T.: La libération des spores chez les champignons supérieurs. 78.

JAMES, W. O.: Linné (1707–1778). 107.

KREBS, H. A.: La régulation des transformations métaboliques. 125.

MCKIE, Douglas. Le premier lexicographe de la chimie: P.-J. Macquer. 133.
MARKHAM, R.: Les maladies à virus des végétaux et leur identification. 99.
MILLOTT, N.: La photosensibilité des animaux dépourvus d'yeux. 19.

OVEREND, W. G. et PEACOCKE, A. R.: Les fondations moléculaires de l'hérédité. 90.

PATON, James: Aurores polaires et tropicales. 42.
PEACOCKE, A. R.: *Voir* OVEREND, W. G. et PEACOCKE, A. R.
PINKERTON, J. M. M.: Développements récents des calculateurs électroniques. 36.
PORTER, G.: Chimie des hautes températures. 224.

RICHARDS, R. E.: Résonance nucléaire magnétique. 185.
ROBERTSON, R. N.: Les electrolytes des tissus végétaux. 193.

SANGER, F. et SMITH, L. F.: La structure de l'insuline. 48.
SMITH, Cyril Stanley: L'utilisation artistique de l'attaque des métaux et sa signification scientifique. 199.
SMITH, L. F.: *Voir* SANGER, F. et SMITH, L. F.

WARBURG, E. F.: Les Crocus. 209.

REVUE DES LIVRES

ABETTI, G. (Traduction anglaise de SIDGWICK, J. B.): The Sun. 172.
ACHESON, R. M.: Acridines. 174.
ADAM, N. K.: Physical Chemistry. 55.
AHRENS, L. H., RANHAMA, Kalervo et RUNCORN, S. K. (publié par): Physics and Chemistry of the Earth, Vol. I. 57.
ANDRADE, E. N. DA C.: An Approach to Modern Physics. 172.
ASTLE, Marvin J.: The Chemistry of Petrochemicals. 230.
ATKIN, R. H.: Mathematics and Wave Mechanics. 230.

BALMER, H.: Beiträge zur Geschichte der Erkenntnis des Erdmagnetismus. 175.
BÄRNER, J., sous la direction de: Bibliographie der Pflanzenschutzliteratur, 1951. 55.
BAUER, K. Fr., publié sous la direction de: Ergebnisse der medizinischen Grundlagenforschung, Vol I. 117.
BECKERLEY, James G., publié sous la direction de: Annual Review of Nuclear Science, Vol. V. 113.
BELLAIRS, Angus d'A.: Reptiles. 176.
BEYER, Hans: Lehrbuch der organischen Chemie (3e/4e édition). 114.
BJORKSTEN, J., TOVEY, H., HARKER, B. et HENNING, J.: Polyesters and their Applications. 115.
BLACKETT, P. M. S.: Lectures on Rock Magnetism. 115.
BLICKE, F. F. et COX, R. H., publié par: Medicinal Chemistry, Vol. III. 177.
BOSWORTH, R. C. L.: Transport Processes in Applied Chemistry. 174.
BOYD, J. D., LE GROS CLARK, Sir Wilfrid, HAMILTON, W. J., YOFFEY, J. M., ZUCKERMAN, Sir Solly et APPLETON, A. M.: Textbook of Human Anatomy. 177.
British Medical Bulletin, Vol. XII, No. II (Neuro-otology). 117.
BURNET, Sir Macfarlane: Enzyme Antigen and Virus. 175.

CAHN, Théophile: La régulation des processus métaboliques dans l'organisme. 54.
CAIRNS, T. L., publié sous la direction de: Organic Syntheses, Vol. XXXV. 56.
CAMERON, Thomas W. M.: Parasites and Parasitism. 116.
CARDWELL, D. S. L.: The Organisation of Science in England. 172.
CARTER, C. F. et WILLIAMS, B. R.: Industry and Technical Progress. 234.
CHARPIE, R. A., HOROWITZ, J., HUGHES, D. J. et LITTLER, D. J., publié sous la direction de: Progress in Nuclear Energy, Série I: Physics and Mathematics, Vol. I. 113.
COBLEY, Leslie S.: An Introduction to the Botany of Tropical Crops. 176.
COWLING, T. G.: Magnetohydrodynamics. 173.
CRANK, J.: The Mathematics of Diffusion. 113.

DANJON, A., PRUVOST, P. et BLACHE, J., publié sous la direction de: Encyclopédie Française. Vol. III, Le ciel et la terre. 230.
DARLINGTON, C. D.: Chromosome Botany. 116.
DE ONG, E. R.: Chemistry and Uses of Pesticides (2e édition). 118.
DOUGLAS, A. Vibert: The Life of Arthur Stanley Eddington. 178.

ELLERFIELD, Robert C., sous la direction de: Heterocyclic Compounds, Vol. V. 231.
Enzymes and Metabolism. 54.

FERRI, Cesare: Guida dei principali prodotti chimici, Vol. I. 177.
FISHER, Sir Ronald: Statistical Methods and Scientific Inference. 112.

GARRETT, S. D.: Biology of Root Infecting Fungi. 55.
GAYLORD, N. G.: Reduction with Complex Metal Hydrides. 174.
GLASSTONE, Samuel: Principles of Nuclear Reactor Engineering. 54.
GODWIN, H.: The History of the British Flora. 116.
GRASSÉ, P.-P., publié sous la direction de: Traité de zoologie. Vol. XVII, Mammifères. Les ordres: anatomie, éthologie, systématique. 117.
GREEN, David E., publié sous la direction de: Currents in Biochemical Research, 1956. 115.
GUILD, J.: The Interference Systems of Crossed Diffraction Gratings. Theory of Moiré Fringes. 58.
GUSTAVSON, K. H.: The Chemistry and Reactivity of Collagen. 56.
Idem. The Chemistry of Tanning Processes. 56.

HAGERUP, O. et PETERSSON, V.: Botanisk Atlas. 176.
HAÏSSINSKY, M., publié par: Actions chimiques et biologiques des radiations. 175.
HALPERN, B. N., BENACERRAF, B. et DELAFRESNAYE, J. F.: Physiopathology of the Reticulo-endothelial System. 233.
HARDY, Alister C.: The Open Sea: Its Natural History: The World of Plankton. 176.
HARVEY, William: Movement of the Heart and Blood in Animals. Essai anatomique traduit par Kenneth J. Franklin. 233.
HAYWOOD, F. W. et WOOD, A. A. R.: Metallurgical Analysis by means of the Spekker Photoelectric Absorptiometer. 174.
HEILBRUNN, L. V.: The Dynamics of Living Protoplasm. 54.
HOLMYARD, E. J.: Alchemy. 112.
HORSFALL, James G.: Principles of Fungicidal Action. 55.

INGOLD, C. K.: Introduction to Structure in Organic Chemistry. 230.

KAYE, G. W. C. et LABY, T. H.: Tables of Physical and Chemical Constants and some Mathematical Functions (11e édition). 58.
KITTEL, Charles: Introduction to Solid State Physics (2e édition). 173.
MEETHAM, A. R. Atmospheric Pollution—Its Origins and Prevention (2e édition). 117.
MEREDITH, R., publié sous la direction de: The Mechanical Properties of Textile Fibres. 173.
MICOVIC, V. M. et MIHAILOVIC, M. L.: Lithium Aluminium Hydride in Organic Chemistry. 56.
NEEDHAM, Joseph: Science and Civilisation in China, Vol. II, History of Scientific Thought. 178.
NORTHCOTT, L.: Metallurgy of the Rarer Metals, No. 5: Molybdenum. 118.
NYE, J. F.: Physical Properties of Crystals. 230.
PASCAL, Paul, publié sous la direction de: Nouveau traité de chimie minérale, Vol. I. Généralités, air, eau, hydrogène, deutérium, tritium, hélium et gaz inertes. 56.
PAYNE-GAPOSCHKIN, Cecilia: Introduction to Astronomy. 54.
Peaceful Uses of Atomic Energy. Proceedings of the International Conference in Geneva, August 1955. Vol. II, Physics, Research Reactors. Vol. III, Power Reactors. Vol. IV, Cross-sections Important to Reactor Design. Vol. V, Physics of Reactor Design. 113. Vol. VII, Nuclear Chemistry and the Effects of Irradiation. 57. Vol. IX, Reactor Technology and Chemical Processing. 58. Vol. XV, Applications of Radioactive Isotopes and Fission Products in Research and Industry. 57.
PHILLIPS, Courtenay: Gas Chromatography. 57.
Plant Protection Conference, 1956. 233.
PLENDERLEITH, H. J.: The Conservation of Antiquities and Works of Art. 177.
POPJAK, G. et LE BRETON, E., publié sous la direction de: Biochemical Problems of Lipids. 175.
PORTER, M. W. et SPILLER, R. C.: The Barker Index of Crystals, Vol. II. 174.
PRZIBRAM, Karl: Irradiation Colours and Luminescence, traduit et revu par J. E. Caffyn. 58.
Réaumur's Memoirs on Steel and Iron. Traduit par Anneliese Grünhaldt Sisco. 178.
SCHUMB, W. C., SATTERFIELD, C. N. et WENTWORTH, R. L.: Hydrogen Peroxide. 114.
SHOLL, D. A.: The Organization of the Cerebral Cortex. 117.
SINGER, Charles, HOLMYARD, E. J., HALL, A. R. et WILLIAMS, Trevor I., publié par: A History of Technology, Vol. II. The Mediterranean Civilizations and the Middle Ages. 234.
SNODGRASS, R. E.: Anatomy of the Honey Bee. 116.
SOUTHWELL, Sir Richard: Relaxation Methods in Theoretical Physics, Vol. II. 173.
SPENCER-GREGORY, H. et ROURKE, E.: Hygrometry. 230.
SWAINGER, K.: Analysis of Deformation. Vol. III, Fluidity. 173.
Symposia of the Society for Experimental Biology. No. X: Mitochondria and other Cytoplasmic Inclusions. 232.
TODD, Sir Alexander, publié sous la direction de: Perspectives in Organic Chemistry. 114.
TREIBS, W. et BOURNOT, K., publié sous la direction de: Die ätherischen Öle (Gildemeister-Hoffman), Vol. IV. 118.
TREYBAL, Robert E.: Mass-transfer Operations. 57.
UMEZAWA, H.: Quantum Field Theory. 113.
VOGEL, Arthur I.: A Textbook of Practical Organic Chemistry, including Qualitative Organic Analysis (3e édition). 115.
WARTH, A. H.: The Chemistry and Technology of Waxes (2e édition). 177.
WILLIAMS, R. J.: Biochemical Individuality. 231.
WOLSTENHOLME, G. E. W. et MILLAR, E. C. P., publié par: The Nature of Viruses (Ciba Foundation Symposium). 231.
YOUNG, J. Z.: The Life of Mammals. 232.

TABLE DES MATIÈRES

Les articles sont ici disposés par ordre numérique de sujets, d'après le système de Classification Décimale Universelle (British Standard 1000). Voir à la page IV le répertoire alphabétique.

001 SCIENCES GÉNÉRALES

001.1:070.432 Vers l'unité des conaissances (Article de Tête). 63, 229.

41 LEXICOGRAPHIE

413:92:54 Le premier lexicographe de la chimie: P.-J. Macquer. MCKIE, Douglas. 133.

5 SCIENCES NATURELLES

53/59:66 :070.432:92 Un technologiste oublié: Réaumur (Article de Tête). 183.

53 PHYSIQUE

531.4:539.62 Adhérence et frottement. BOWDEN, F. P. 5.
533.5(091) Les anciennes pompes à vide. ANDRADE, E. N. DA C. 29.
538.245 Les domaines ferromagnétiques. BATES, L. F. 151.
538.56:070.432 :92 Heinrich Hertz (1857–1894) (Article de Tête). 3.
539.154.3 :545.8 Résonance nucléaire magnétique. RICHARDS, R. E. 185.
539.62:531.4 Adhérence et frottement. BOWDEN, F. P. 5.

54 CHIMIE

54:413:92 Le premier lexicographe de la chimie: P.-J. Macquer. MCKIE, Douglas. 133.
541.118 Chimie des hautes températures. PORTER, G. 224.
541.12 :577.15.084 Nouvelles techniques d'étude des mécanismes enzymatiques. GUTFREUND, H. 217.
541.135.2 :581.175 Les electrolytes des tissus végétaux. ROBERTSON, R. N. 193.
545.8 :539.154.3 Résonance nucléaire magnétique. RICHARDS, R. E. 185.
547.757 :581.143 L'acide gibberellique. BRIAN, P. W. et GROVE, John Frederick. 161.
547.962.4 :577.18 La structure de l'insuline. SANGER, F. et SMITH, L. F. 48.
547.963.32 :575.112 :576.312.2 Les fondations moléculaires de l'hérédité. OVEREND, W. G. et PEACOCKE, A. R. 90.

55 GÉOPHYSIQUE

550(100) «1957/58» :070.432 L'Année Géophysique Internationale a commencé (Article de Tête). 123.
551.594.5 Aurores polaires et tropicales. PATON, James. 42.

57 BIOLOGIE

575.112 :576.312.2 :547.963.32 Les fondations moléculaires de l'hérédité. OVEREND, W. G. et PEACOCKE, A. R. 90.
576.312.2 :547.963.32 :575.112 *Idem.*
576.34:577.15 La régulation des transformations métaboliques. KREBS, H. A. 125.
576.858:581.23 Les maladies à virus des végétaux et leur identification. MARKHAM, R. 99.

577.15:576.34 La régulation des transformations métaboliques. KREBS, H. A. 125.
577.15.084 :541.12 Nouvelles techniques d'étude des mécanismes enzymatiques. GUTFREUND, H. 217.
577.18 :547.962.4 La structure de l'insuline. SANGER, F. et SMITH, L. F. 48.

58 BOTANIQUE

581.111:631.43 L'alimentation en eau des végétaux. HUDSON, J. P. 84.
581.143 :547.757 L'acide gibberellique. BRIAN, P. W. et GROVE, John Frederick. 161.
581.175 :541.135.2 Les electrolytes des tissus végétaux. ROBERTSON, R. N. 193.
581.23:576.858 Les maladies à virus des végétaux et leur identification. MARKHAM, R. 99.
581.332:582.28 La libération des spores chez les champignons supérieurs. INGOLD, C. T. 78.
582:92 Linné (1707–1778). JAMES, W. O. 107.
582.28:581.332 La libération des spores chez les champignons supérieurs. INGOLD, C. T. 78.
582.579 Les Crocus. WARBURG, E. F. 209.

59 ZOOLOGIE

591.185.6 La photosensibilité des animaux dépourvus d'yeux. MILLOTT, N. 19.
591.463.1:599 Les spermatozoïdes des mammifères. BISHOP, M. W. H. et AUSTIN, C. R. 137.
599:591.463.1 *Idem.*

62 ART DE L'INGÉNIEUR

620.183 :669.017 :623.444.2 :739.7 L'utilisation artistique de l'attaque des métaux et sa signification scientifique. SMITH, Cyril Stanley. 199.
621.039.42 :621.311.2 Générateurs nucléaires de courant électrique. HINTON, Sir Christopher. 65.
621.311.2 :621.039.42 *Idem.*
621.37/.38 :681.14 Développements récents des calculateurs électroniques. PINKERTON, J. M. M. 36.
623.444.2 :739.7 :669.017 :620.183 L'utilisation artistique de l'attaque des métaux et sa signification scientifique. SMITH, Cyril Stanley. 199.

63 AGRICULTURE

631.43:581.111 L'alimentation en eau des végétaux. HUDSON, J. P. 84.

66/69 TECHNOLOGIE

66:070.432:92 :53/59 Un technologiste oublié: Réaumur (Article de Tête). 183.
669.017:739.7 :623.444.2 :620.183 L'utilisation artistique de l'attaque des métaux et sa signification scientifique. SMITH, Cyril Stanley. 199.
681.14 :621.37/.38 Développements récents des calculateurs électroniques. PINKERTON, J. M. M. 36.

73/75 BEAUX ARTS

739.7:620.183 :669.017 :623.444.2 L'utilisation artistique de l'attaque des métaux et sa signification scientifique. SMITH, Cyril Stanley. 199.

92 BIOGRAPHIE

92:53/59:66 :070.432 Un technologiste oublié: Réaumur. (Article de Tête). 183.
92:538.56 :070.432 Heinrich Hertz (1857–1894) (Article de Tête). 3.
92:54:413 Le premier lexicographe de la chimie: P.-J. Macquer. MCKIE, Douglas. 133.
92:582 Linné (1707–1778). JAMES, W. O. 107.

RÉPERTOIRE ALPHABÉTIQUE

Acide gibberellique 547.757
Acides aminés
  Structure de l'insuline 547.962
Acides nucléiques 547.963.32
Adhérence des solides 539.6
Agriculture 63
Année Géophysique Internationale 55
Art de l'ingénieur 621
Attaque des métaux 620.183
Aurores 551.594.5

Biochimie 577
Biographie 92
Biologie 57
Botanique 581

Calculateurs électroniques 621.37/.38
Centrales nucléaires 621.311.2
Champignons 582.28
Chimie
  Haute température 541.118
  Lexicographie 54:413
Cinétique des réactions
  Enzymes 541.12
  A hautes températures 541.11
Crocus 582.579
Croissance
  Plantes 581.143
Cytologie 576.3

Damas
  Techniques de fabrication 623.444.2
Dictionnaires de chimie 413
Domaines ferromagnétiques 538.245

Electricité
  Production de courant 621.311.2
Electrolytes
  Tissus végétaux 541.135.2
Electromagnétisme 538.56
Electrotechnique 621.3
Energie nucléaire 621.039
Enzymes 577.15
  Mécanisme de réaction 577.15.084
Epées
  Structure métallique 623.444.2

Ferromagnétismé 538
Frottement 539.62

Génétique 575
Géophysique 55

Hérédité
  Fondations moléculaires 575.112
Hertz, Heinrich 92
Histoire de la science 53(091)
Hormones
  Insuline 577.18

Insuline 547.962.4
Irrigation 631.43

Linné 92

Machines à calculer 681.14
Machines pneumatiques
  Histoire 533.5
Macquer, P.-J. 92:54
Maladies à virus
  Plantes 576.858
Mécanique 531
Métabolisme 576.34
Métallographie 699.017
Mitochondries
  Cellules végétales 581.17
Mycologie 582.2

Pédologie 631.4
Photosensibilité
  Animaux 591.185.6
Physiologie
  Végétale 581.1/3
Physique 53
Phytopathologie 581.23
Pompes à vide 533.5

Réacteurs nucléaires 621.039.42
Réaumur, R.-A. F. de 92
Résonance nucléaire magnétique 539.154.3

Spectres
  Résonance nucléaire magnétique 539.154.3
Sporulation 581.332
Spermatozoïdes
  Mammifères 591.463.1
Structure moléculaire
  Résonance nucléaire magnétique 545.8

Taxonomie
  Botanique 58
Technique du vide 533
Technologie 66

Végétaux
  Besoins en eau 581.1

Zoologie 59

Imprimé en Grande-Bretagne par THE KYNOCH PRESS, *Witton, Birmingham, 6, pour les éditeurs,*
IMPERIAL CHEMICAL INDUSTRIES LIMITED, *Londres, S.W.1*

ENDEAVOUR

Revue trimestrielle destinée à tenir registre du progrès
des sciences au service du genre humain

VOLUME XVI Janvier 1957 NUMÉRO 61

SOMMAIRE

070.432:92:538.56
Article de Tête: Heinrich Hertz (1857–1894) 3

In memoriam: John A. Wilcken (1881–1956) 4

539.62:531.4
Adhérence et frottement — F. P. BOWDEN, C.B.E., Sc.D., F.R.S. — 5

591.185.6
La photosensibilité des animaux dépourvus d'yeux — N. MILLOTT, M.Sc., Ph.D. — 19

533.5(091)
Les anciennes pompes à vide — E. N. DA C. ANDRADE, D.Sc., Ph.D., LL.D., F.R.S. — 29

681.14:621.37/.38
Développements récents des calculateurs électroniques — J. M. M. PINKERTON, M.A., Ph.D. — 36

551.594.5
Aurores polaires et tropicales — JAMES PATON, M.A., B.Sc., F.R.S.E. — 42

547.962.4:577.18
La structure de l'insuline — F. SANGER, B.A., Ph.D., F.R.S., et L. F. SMITH, Ph.D. — 48

049.3
Revue des livres 54

Brèves notices bibliographiques 59

Notes biographiques sur les collaborateurs 60

Livres reçus .. .. Couverture III

Rédacteur en chef: TREVOR I. WILLIAMS, M.A., B.Sc., D.Phil., F.R.I.C.
(*Pour les éditions étrangères:* G. N. J. BECK, B.Sc., A.M.I.E.E.)

Imperial Chemical Industries Limited, Millbank, Londres, S.W.1
Prière d'adresser toute correspondance à la rédaction, North Block, Thames House, Millbank, Londres, S.W.1

Heinrich Hertz (1857–1894)

Les grands géomètres du XVIIIe siècle avaient appliqué avec tant de succès la loi de Newton à l'élucidation des mouvements planétaires que l'on tenta d'expliquer la plupart des propriétés de la matière en fonction d'attractions et de répulsions agissant directement à travers l'espace, et variant avec la distance seulement.

D'après la loi de Newton, l'attraction entre deux corps ne dépend que de la distance qui les sépare, la matière intermédiaire n'y étant pour rien; mais Newton lui-même ne croyait pas en la possibilité d'une action à distance, indépendante du milieu où elle s'exerce.

Néanmoins, la doctrine de l'action à distance était encore, au XIXe siècle, très en faveur dans les milieux scientifiques allemands et français: c'est en la prenant pour base que W. Weber et d'autres ont développé jusqu'à l'ultime perfection la théorie de l'électricité, mais en y apportant un si grand nombre d'hypothèses que le domaine de l'électromagnétisme devint, selon Helmholtz, «une jungle impénétrable». Les physiciens anglais, d'autre part, ne croyaient guère en l'action à distance. Faraday était convaincu que c'était le milieu où ils se trouvaient qui servait de véhicule à l'action réciproque de deux corps chargés d'électricité. A ses yeux toute interaction directe entre corps séparés dans l'espace était impossible sans qu'il se produise quelque modification du milieu intermédiaire, ce dernier étant le siège d'un système de forces qui pouvait être représenté par une attraction, ou tension, le long des lignes de force électrique à tous les points, ainsi qu'une pression latérale, ou répulsion mutuelle, de ces lignes.

L'œuvre capitale de Clerk Maxwell a été de donner une forme mathématique aux idées de Faraday; sa théorie, dans sa forme définitive, fait partie de son fameux traité *Electricity and Magnetism* qui parut en 1873. Il y démontre que tous les phénomènes électriques et magnétiques peuvent se réduire à des forces et des mouvements de la matière ambiante. Il prouve que la propagation des perturbations électriques est analogue à celle de la lumière, et affirme sans hésitation l'identité des deux phénomènes. Selon lui, si le milieu nécessaire à l'explication des phénomènes électriques est le même que celui qui sert à expliquer les phénomènes lumineux, la vitesse de la lumière dans le vide sera alors numériquement égale au quotient de l'unité de charge électrostatique par l'unité de charge électromagnétique. Les meilleures mesures effectuées à l'époque semblaient lui donner raison. Et Maxwell conclut que la déduction qui s'impose est que la lumière n'est rien d'autre que les ondulations transversales de ce même milieu qui donne naissance aux phénomènes électriques et magnétiques.

Parmi les conceptions nouvelles qui interviennent dans la théorie de Maxwell se trouve celle de l'existence d'un courant de déplacement dans un milieu diélectrique qui serait en rapport avec le taux d'accroissement de la force électrique dans le diélectrique et qui produirait les mêmes effets magnétiques qu'un courant réel. Si l'on admet que le courant de déplacement continue à travers le diélectrique le courant utilisé à la charge d'un condensateur, ce courant devient un vecteur rotationnel et peut être considéré comme un courant permanent. La plupart des contemporains de Maxwell, qui en étaient encore à la doctrine de l'action à distance, trouvaient cela inacceptable, et c'est dans une large mesure grâce aux travaux d'Heinrich Hertz, dont on célèbre cette année le centenaire de la naissance, que la théorie de Maxwell trouva enfin un accueil favorable. Hertz découvrit les ondes électriques dont Maxwell avait affirmé l'existence comme conséquence nécessaire de sa théorie et prouva qu'elles possédaient les mêmes propriétés que les rayons lumineux, fournissant ainsi la vérification expérimentale des hypothèses sur lesquelles étaient fondées la théorie.

Né à Hambourg le 22 février 1857, Hertz fit ses études au lycée de cette ville, consacrant une grande partie de ses loisirs à fabriquer des instruments d'optique et de mécanique. Au sortir du lycée il choisit la carrière d'ingénieur; mais, à mesure qu'il avançait dans ses études, il se sentait attiré invinciblement vers la science pure, de sorte qu'au bout de deux ans il décida d'abandonner le génie pour le professorat. Vers la fin de 1878 il se rend à Berlin et fait un stage dans le laboratoire de Helmholtz. Celui-ci ne tarde pas à s'apercevoir des brillantes dispositions de Hertz et en 1880 le nomme son assistant.

En 1883 Hertz devient *Privat-dozent* à Kiel. Là il se met à étudier sérieusement l'électromagnétique de Maxwell. En 1884 il publie un mémoire où, après avoir tenté de faire la preuve théorique des équations de Maxwell, il arrive à la conclusion que le système proposé par celui-ci est préférable pour diverses raisons au système basé sur l'action directe à distance. Après avoir obtenu un poste de professeur de physique à Carlsruhe,

en 1885, Hertz s'applique à la recherche d'une vérification expérimentale directe de la théorie de Maxwell, et la trouve après cinq ans d'efforts.

Pour sa première expérience, Hertz utilise un fil de cuivre recourbé en forme de rectangle, avec un intervalle entre les extrémités, et relié à un circuit où passe la décharge disruptive d'une bobine de Ruhmkorff. Il constate que les étincelles traversent l'espace libre du circuit ouvert. Puis il remarque qu'une étincelle peut se produire dans le circuit ouvert, même sans qu'il soit relié au circuit oscillant, à condition que le circuit secondaire se trouve par ses dimensions presque en résonance avec le circuit primaire. Le circuit ouvert lui donnait donc un moyen de déceler les effets électriques provoqués à distance par un circuit oscillant: c'était tout ce qu'il fallait pour observer la propagation des ondes électriques dans un espace libre.

Hertz construisit un excitateur composé de deux feuilles métalliques co-planaires, portant chacune un fil métallique terminé par une boule et tourné dans la direction de l'autre feuille. L'appareil était relié aux bornes d'une bobine d'induction. Sa capacité et son auto-induction étant faibles, il produisait des ondes assez courtes (environ 24 cm) pour convenir à des expériences de laboratoire. La dimension de son résonateur lui donnait une période d'oscillation libre égale à celle de l'excitateur primaire.

Hertz démontre d'abord que la présence d'une substance isolante au voisinage de l'appareil modifie les phénomènes observés, ce qui indique que les perturbations électriques dans les isolants ne s'accompagnent pas seulement d'actions électrostatiques, mais aussi d'actions électromagnétiques. En diffusant les perturbations à partir de l'oscillateur primaire sur deux trajets différents, à travers l'air et le long d'un fil, il obtient des effets d'interférence, démontrant par là que les phénomènes électromagnétiques se propagent à une vitesse finie. Poursuivant ses expériences il arrive à la conclusion que cette vitesse de propagation est du même ordre que la vitesse de la lumière.

D'autres expériences confirmèrent l'analogie constatée entre les ondes électriques et les ondes lumineuses: la réflexion sur la surface d'un mur donne des ondes stationnaires par interférence entre les rayonnements direct et indirect; la réflexion sur une plaque métallique révèle que les angles d'incidence et de réflexion sont à peu près égaux; en diffusant les ondes à travers une fente dans un écran il prouve qu'elles se propagent en ligne droite avec des effets de diffraction; les ondes se réfractent au passage dans un prisme en asphalte dur, et se polarisent en passant à travers une grille de fils métalliques parallèles.

Des recherches théoriques viennent compléter toutes ces expériences. De plus, il analyse les perturbations émises par son excitateur à la lumière de la théorie de Maxwell, dégage de cette théorie ce qui se rapporte aux corps au repos et étend les équations de Maxwell aux corps matériels en mouvement dans le champ.

En 1889 Hertz est appelé à occuper la chaire de Physique à l'Université de Bonn, et le peu d'années qu'il lui reste à vivre sont consacrées à l'examen logique, à un point de vue très général, des principes fondamentaux de la mécanique. Il tombe malade en 1893 et meurt le 1er janvier 1894. Sa disparition prématurée fut une grande perte pour la science.

In memoriam: John A. Wilcken (1881–1956)

La mort de John Adolf Wilcken, survenue le 9 octobre 1956, a mis en deuil la rédaction d'*Endeavour*. Depuis la fondation de cette revue en 1942, il en a dirigé les quatre éditions étrangères, et c'est en grande partie grâce au soin scrupuleux et dévoué qu'il apportait à leur préparation qu'est due la faveur dont jouit *Endeavour* hors du Royaume-Uni.

Né au Danemark en 1881, il partagea son existence entre les voyages et les sciences, et acquit une expérience considérable dans la recherche et les publications scientifiques. Avant de s'établir en Angleterre, il visita l'Europe, les Etats-Unis, le Brésil et l'Argentine et travailla dans ces trois derniers pays, étant diplômé en Physique des universités de Copenhague, de La Plata et de Londres. C'est en 1919 qu'il arriva en Angleterre. Il s'adonna quelque temps à des recherches au laboratoire Cavendish, à Cambridge, puis en 1920 devint professeur de Mathématiques au collège technique de Sunderland, et quatre ans après passa au Collège Armstrong (aujourd'hui King's College) de Newcastle-upon-Tyne, en qualité de professeur d'Electrotechnique. En 1937, il fut chargé par l'*Institution of Electrical Engineers* de rédiger la Section B des *Science Abstracts*, dont il devint le seul rédacteur à partir de 1940. Il resta titulaire de ce poste jusqu'en 1945, et se consacra par la suite exclusivement aux éditions étrangères d'*Endeavour*.

Adhérence et frottement

par F. P. BOWDEN

Les lois fondamentales du frottement sont simples, et on les connaît depuis longtemps, mais c'est seulement à une date récente qu'on a pu commencer à comprendre les transformations locales qui accompagnent le glissement réciproque des solides dans divers cas. Les connaissances acquises sont très utiles en physique des solides, et ont aussi une grande importance pratique dans des domaines divers: constructions et graissage des coussinets, polissage du diamant, dégivrage des avions, substances adhésives, etc.

Les lois expérimentales qui régissent le frottement de solides glissant l'un sur l'autre sont très simples. On trouve en général que la résistance au frottement est proportionnelle à la charge, et indépendante de la grandeur des surfaces en contact. L'examen détaillé de la topographie des surfaces solides permet aisément de comprendre ces lois, car l'expérience a prouvé qu'il est presque impossible, même avec les meilleures méthodes modernes, de réaliser une surface vraiment plane. Pour un observateur de dimensions atomiques, une surface polie optiquement ou électrolytiquement aurait l'aspect d'un pays montagneux et vallonné, avec des différences de niveau d'une centaine d'atomes ou plus. La plupart des meilleures surfaces de la technique sont encore bien plus irrégulières; les différences de niveau peuvent atteindre des milliers d'atomes.

Ceci se trouve confirmé par les mesures de conductibilité électrique au travers des surfaces métalliques en contact. La surface de contact réelle est très réduite. Elle varie avec la charge, mais pour des surfaces planes d'acier, elle demeure inférieure au dix-millième de la surface apparente. Un intérêt supplémentaire de ces expériences est de montrer que l'aire réelle de contact est presque indépendante des dimensions de la surface. Elle dépend très peu de la forme et du degré de rugosité des surfaces. Elle dépend principalement de la charge appliquée, et elle lui est, en fait, proportionnelle. Ce comportement général s'explique bien si l'on suppose que les surfaces sont maintenues séparées par de petites irrégularités. Il s'ensuit que, même pour des charges très faibles, la pression locale aux points de contact est très grande, et peut être assez élevée pour provoquer l'écoulement plastique des métaux les plus durs. Bien que les tensions causent des déformations élastiques du métal au voisinage des points de contact, les expériences suggèrent que les sommets des irrégularités qui supportent les corps coulent plastiquement, et s'écrasent jusqu'à ce que leur section leur permette de supporter la charge appliquée. La véritable aire de contact est donnée par la formule $A = W/p_m$, où p_m désigne la limite élastique du métal et W la charge (voir figure 1).

On a de bonnes raisons de penser que la friction des métaux est due, en grande partie, à ces adhérences localisées et représente la force nécessaire au cisaillement de ces petites jonctions [1]. On peut donc écrire d'une façon grossièrement approximative $F = As$, s désignant la tension de cisaillement de la jonction, et F le frottement.

Cette représentation explique simplement les deux lois du frottement. D'abord, puisque A, la surface de contact véritable, est indépendante de la dimension des surfaces, le frottement en sera indépendant. Deuxièmement, puisque la surface de contact réelle, A, est proportionnelle à la charge, le frottement F le sera également. Dans ces conditions, le coefficient de frottement $\mu = F/W$ doit évidemment être constant.

Il peut arriver que le cisaillement se produise à l'interface, mais le plus souvent (à cause de l'écrouissage dans la région de contact) il se produit un peu plus loin. Il y a donc un fragment

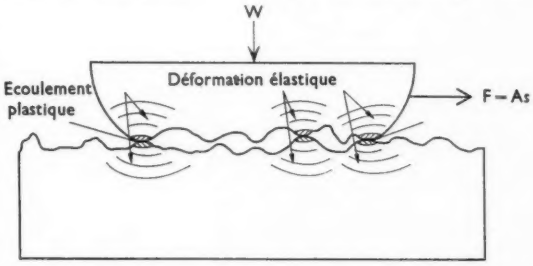


FIGURE 1 – *Deux solides au contact se touchent par les sommets des irrégularités superficielles. La pression dépasse la limite élastique p_m du solide, qui coule plastiquement jusqu'à ce que l'aire de contact A soit suffisante pour supporter le poids W. Le matériau qui entoure les régions de contact aura subi une déformation élastique.*

métallique détaché de l'une des surfaces qui adhère à l'autre. Le transfert peut aussi bien s'effectuer d'un métal dur à un métal mou que dans l'autre direction. Il est facile de mesurer la quantité de métal transféré sur ces régions de contact localisées au cours du glissement si l'un des métaux est rendu artificiellement radioactif, au moyen d'un compteur de Geiger ou par autoradiographie (figure 11).

Les surfaces métalliques exposées à l'air sont toujours recouvertes d'une pellicule d'oxyde ou de gaz adsorbé; son épaisseur peut n'être que de quelques molécules, mais elle a cependant un effet considérable sur l'adhérence et le frottement. On peut éliminer cette pellicule par un chauffage, suivi d'un refroidissement dans un vide poussé. Cela augmente le frottement. Au cours d'un essai de glissement, la véritable surface de contact augmente, et le frottement peut atteindre une valeur considérable.

ADHÉRENCE DES MÉTAUX

Nous voyons que lorsque deux métaux sont juxtaposés, il y a forte adhérence aux régions de contact locales. On peut donc se demander pourquoi on n'observe rien de semblable normalement entre les surfaces. S'il s'établit une vive adhérence, on peut s'attendre à ce que la force nécessaire pour séparer les surfaces dans la direction normale soit du même ordre que celle qui a primitivement appliqué les surfaces l'une sur l'autre, mais ce n'est pas ce que l'on observe en général, ceci pour deux raisons. D'abord, le glissement est probablement plus efficace pour briser les pellicules superficielles d'impuretés, et produit des jonctions plus fortes que celles qui se forment sous une charge normale. Ensuite, on mesure toujours le frottement en maintenant la charge normale. Mais pour étudier l'adhérence, il faut, avant les mesures supprimer la charge normale. Ceci libère les tensions élastiques dans le matériau qui entoure les jonctions, et change légèrement la topographie interfaciale (voir figure 1). Les jonctions elles-mêmes seront fortement écrouies et relativement cassantes, et seront brisées par de très petites tensions dues aux déplacements. Ceci veut dire que lorsqu'on supprime la charge normale, les jonctions se brisent l'une après l'autre, et il n'en reste pratiquement plus quand on doit faire les mesures d'adhérence.

Si ce mécanisme est correct, on doit s'attendre à une adhérence vigoureuse entre métaux mous et ductiles, qui ne s'écrouissent pas sensiblement dans les conditions de l'expérience. Avec ces métaux, il doit y avoir peu de variation de forme due à l'élasticité, et les jonctions doivent être assez ductiles pour supporter tout mouvement accompagnant la suppression de la charge normale. C'est ce qu'ont effectivement montré J. S. McFarlane et D. Tabor [2]. Si, sur la surface propre d'un métal mou comme le plomb — ou mieux, l'indium —, on applique une surface sphérique propre et dure d'un autre métal, il y a une forte adhérence, et il faut exercer, pour séparer les surfaces, une traction normale aussi forte que la charge initiale (en d'autres termes, le coefficient d'adhérence est 1), et on trouve des fragments de plomb ou d'indium sur la surface sphérique.

G. W. Rowe [3] a récemment étudié l'adhérence dans le vide poussé de métaux plus durs, comme le platine, le nickel et l'argent. Les expériences montrent qu'en dépit du coefficient de frottement très élevé de ces métaux nus, l'adhérence normale à température ordinaire est négligeable. Si toutefois, on chauffe ces métaux à la température du recuit, et qu'on laisse refroidir à température ambiante, on observe alors une adhérence très forte. On verra sur la figure 2 quelques résultats caractéristiques pour le platine. Ce traitement thermique relâche les tensions élastiques aux points de jonction, et l'adhérence se manifeste. On trouvera sur le tableau 1 la température à laquelle ce phénomène se produit dans le cas d'un certain nombre de métaux.

FROTTEMENT DES MATIÈRES PLASTIQUES

On a étudié le comportement au frottement des polymères. On trouvera dans le tableau II le

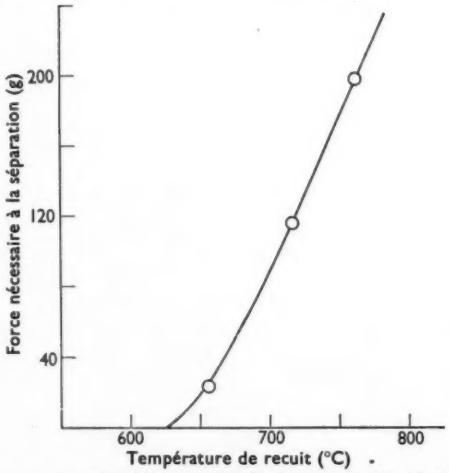


FIGURE 2 – *Etablissement de l'adhérence avec le platine mis à nu. Charge initiale, 21 g. On observe une adhérence lorsque le recuit libère les tensions élastiques.*

TABLEAU I

Température (°C) à laquelle s'établit l'adhérence normale de métaux dans le vide poussé

Platine ..	620	Argent ..	200
Nickel ..	500	Plomb ..	env. 30
Or	250	Indium ..	< 30

coefficient de frottement de quelques matériaux thermoplastes glissant sur eux-mêmes.

Il est clair que tous ces matériaux ont des coefficients de frottement du même ordre que celui des métaux, sauf le P.T.F.E. pour lequel μ est extraordinairement faible. En étudiant l'usure superficielle au glissement, on trouve qu'il y a une forte adhérence, et arrachage et transfert de matière plastique d'une surface à l'autre (figure 12, (*a*) et (*b*)). Lorsqu'une matière plastique glisse sur un métal, il n'y a pas seulement transfert de matière plastique sur le métal, mais aussi un transfert limité, mais non nul, du métal sur la matière plastique (figure 12(*c*)). Il est ainsi possible qu'une matière plastique relativement molle use légèrement un métal bien plus dur.

Là encore, on peut montrer que le frottement dépend de la surface de contact réel A et de la résistance au cisaillement s de la jonction, et peut s'écrire $F = As$. En comparant avec des expériences de cisaillement sur des matières plastiques, on voit que s est grossièrement égal à la résistance au cisaillement macroscopique, et le mécanisme du frottement est essentiellement le même que dans le cas des métaux.

Cependant, il y a une différence essentielle avec les métaux dans l'effet de la charge. Dans le cas des métaux, il y a une véritable déformation plastique aux régions de contact, et c'est pourquoi la surface de contact véritable est proportionnelle à la charge. Ce n'est pas le cas avec les polymères à longue chaîne. Ce sont des matériaux viscoélastiques: leur déformation dépend de la géométrie des surfaces, de la charge W, et de la durée de la pression. En général, l'aire de contact A est liée à la charge par une relation du type $A \propto W^n$, avec n plus petit que 1. Par suite, le coefficient de frottement augmente quand la charge diminue. Cet effet peut être très prononcé sous de faibles charges, et il est particulièrement visible dans le cas des fibres polymères.

On a fait récemment [4] des mesures dans un domaine étendu sur le frottement et la déformation des polymères et des fibres fabriquées avec eux. On voit sur la figure 3 un schéma simplifié de l'appareil utilisé pour mesurer le frottement des fibres dans le vide. La fibre du bas est étirée, maintenue tendue et soutenue aux deux extrémités par un chariot qui peut glisser le long de son axe. Le tout est monté dans le vide et entraîné à faible vitesse par un moteur synchrone. La fibre supérieure, qui joue le rôle de cantilever peut être appliquée sur la surface intérieure par une vis micrométrique. Avec des fibres fines, on peut réaliser des charges normales très faibles, jusqu'à 1 μg.

L'influence de la charge est très grande: par exemple, sur un brin de nylon (diamètre 0,042 mm) le coefficient de frottement μ sous une charge de 1 kg est environ 0,4; sous une charge de 1 mg il dépasse 1,2. Les calculs de Tabor montrent que ces variations suivent celles de la véritable surface

TABLEAU II

Polymère	*Nom habituel*	*Formule chimique*	*Coefficient de frottement* μ
Chlorure de polyvinyle ..	P.V.C.	$(-CH_2-CHCl-)_n$	0,4–0,5
Polystyrène	Polystyrène	$(C_8H_8)_n$	0,4–0,5
Méthacrylate polyméthylique	Perspex	$\left(CH_3-\underset{\underset{CH_2}{\parallel}}{C}-COOCH_3\right)_n$	0,4–0,5
Nylon		$(CO-(CH_2)_4-CO-NH-(CH_2)_6-NH-)_n$	0,3
Polyéthylène	Polythène	$(-CH_2-CH_2-)_n$	0,6–0,8
Polytétrafluoréthylène ..	P.T.F.E. (Fluon, Teflon)	$(-CF_2-CF_2-)_n$	0,05–0,1

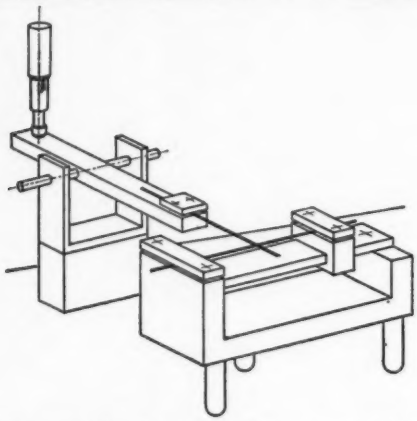


FIGURE 3 – *Appareil à cantilever pour mesurer le frottement entre fibres dans le vide.*

de contact, et reflètent essentiellement les changements de la force nécessaire pour cisailler une matière plastique ayant cette surface. Les fibres sont en général recouvertes de petites irrégularités, ou «galets» et on peut s'attendre à ce que l'aire de contact véritable soit sensiblement moindre que l'aire de déformation. Cependant, lorsque la charge est très petite, il semblerait qu'il y ait contact seulement sur quelques aspérités, peut-être sur une seule. Par exemple, avec le brin de nylon de 0,042 mm, les charges les plus fortes — environ 0,1 g — créent un cercle de contact de diamètre voisin de 0,004 mm, alors que le diamètre des «galets» individuels est de l'ordre de 0,002 mm. On ne peut pas mettre en évidence la région de contact sous ces charges relativement faibles, mais on pourra comprendre ce qui se passe en considérant une micrographie électronique par réflexion obtenue sous des charges bien plus élevées (figure 16). On a fait passer sur la fibre un glisseur plat en métal sous une charge de 40 g. Il a creusé un sillon large de près de 0,02 mm, soit environ cinq fois plus large que le plus gros sillon imprimé dans les expériences avec fibres croisées. Ceci est en faveur de l'hypothèse que dans les mesures de frottement entre fibres croisées, où les charges sont très faibles, on peut considérer que le contact n'a lieu qu'en un seul point. Pour cette raison, l'aire de contact réel est très voisine de l'aire de déformation, et le frottement varie parallèlement à cette dernière. Cette représentation physique simple permet un accord raisonnable entre la théorie et l'expérience, même lorsque la charge varie dans le rapport 10^{10} : 1, et le rayon de courbure des surfaces, dans le rapport 300 : 1. Avec la plupart des plastiques, l'adhérence est forte; le cisaillement se produit à une petite distance de l'interface, si bien qu'il y a transfert et usure. Avec le P.T.F.E., l'adhérence est faible; il peut y avoir glissement à l'interface, et le frottement est bas. Il semble que ce soit une propriété intrinsèque du matériau, car le frottement reste bas même dans un vide poussé, où il y a élimination de la plus grande partie des pellicules superficielles. Si on soumet la surface à des essais prolongés à grande vitesse, la chaleur due au frottement peut l'endommager, et accroître le frottement.

SOLIDES ÉLASTIQUES. DIAMANT

Le comportement au frottement du diamant est particulièrement intéressant à cause de sa grande dureté et de ses constantes élastiques élevées. Sous pression normale le diamant subit une déformation élastique, et les conditions au contact, lors du glissement diamant/diamant, sont celles de la déformation élastique. Ceci implique que l'aire de contact véritable n'est pas proportionnelle à la charge W, mais à $W^{2/3}$. Le frottement n'est donc pas constant: il doit décroître à mesure que la charge augmente, et le coefficient de frottement μ doit être proportionnel à $W^{-1/3}$. On trouvera sur la figure 4 (courbe 1) les valeurs

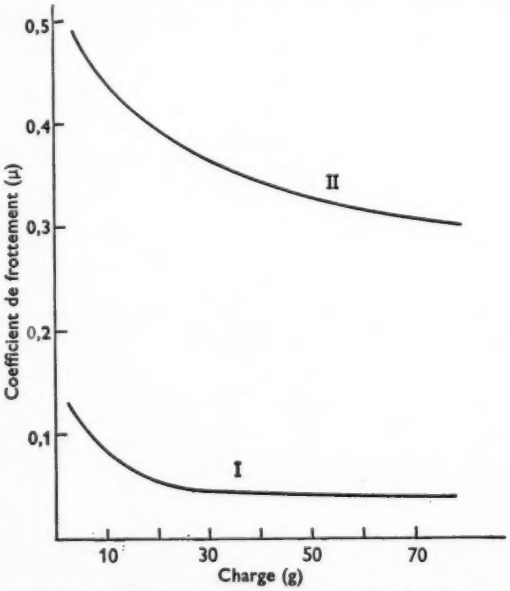


FIGURE 4 – *Frottement du diamant en fonction du poids. Courbe I: Le coefficient de frottement μ augmente quand la charge diminue, et suit approximativement une loi du type $\mu = kW^{-1/3}$, associée à la déformation élastique. Courbe II: Dans le vide, lorsqu'on a éliminé les films superficiels, le frottement devient considérable.*

expérimentales pour le diamant propre exposé à l'air: il y a accord avec la théorie. On remarquera aussi que le frottement est faible. Pour une charge de 70 g, μ est voisin de 0,05.

On remarquera aussi un autre effet sur la figure 4. Si on se débarrasse de la pellicule d'oxygène et d'autres gaz adsorbés normalement présente sur la surface, par chauffage et refroidissement dans le vide, le frottement augmente nettement (courbe II). C'est là un effet analogue à celui qu'on observe avec des métaux. Mais avec ceux-ci, il se produit une prise en masse. Ceci ne peut pas arriver avec le diamant, simplement parce qu'il n'est pas ductile, et qu'il ne peut y avoir de croissance à la jonction. En calculant l'aire réelle de contact, par application de l'équation de Hertz, en supposant qu'il y a déformation élastique, on montre que dans le cas de diamants propres, qui glissent l'un sur l'autre dans le vide, la résistance au cisaillement effective dans la région de contact est élevée, et du même ordre que son équivalent macroscopique.

Le frottement diamant sur diamant présente d'autres particularités remarquables. Le coefficient de frottement varie suivant la direction de glissement en fonction de l'orientation cristallographique. Cet effet a été étudié par D. M. Kenyon et plus récemment par M. Seal [11]. On trouvera quelques-uns des résultats de Seal sur la figure 5. On a porté le coefficient de frottement entre un glisseur et une face d'un cube poli (100) en diamant, en fonction de la direction de glissement sur la surface. Les variations de coefficient de frottement correspondent à une symétrie d'ordre 4. Les maxima apparaissent dans la direction des axes cristallographiques. Ces variations de frottement selon la direction nous permettent

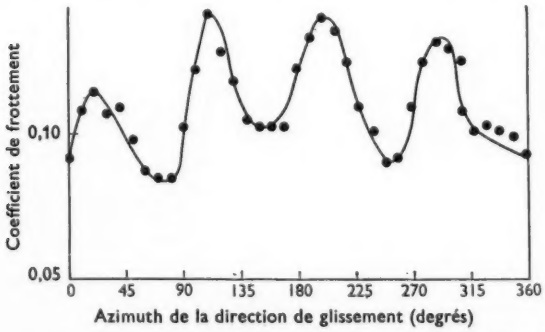


FIGURE 5 – *Le coefficient de frottement du diamant dépend beaucoup de la direction de glissement. Sur une face cubique, il présente une symétrie d'ordre quatre. C'est dans les directions où le frottement est le plus élevé que le polissage est le plus facile.*

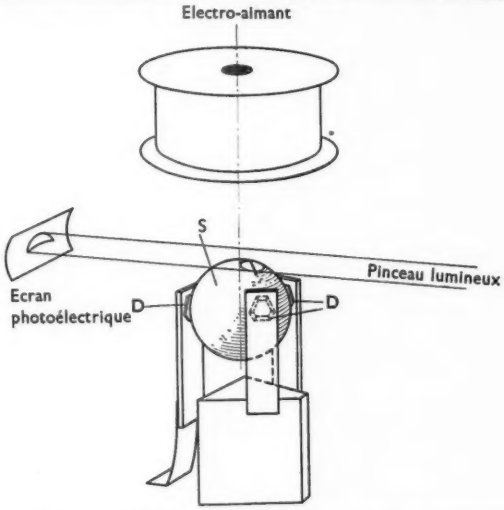


FIGURE 6 – *Méthode d'étude du frottement et du polissage du diamant à très grande vitesse. La sphère d'acier S est suspendue magnétiquement et mise en rotation. Le frottement est mesuré par sa baisse de vitesse lorsqu'on la met au contact des trois surfaces de diamant D. On peut facilement réaliser des vitesses de frottement qui atteignent* 3500 *km/heure.*

de mieux comprendre le mécanisme du polissage du diamant. Normalement, on le frotte contre une meule de fer rotative ou «scaife» recouverte de poussière de diamant. Depuis déjà très longtemps, on avait remarqué une anisotropie manifeste de la résistance à l'abrasion quand on polit le diamant de cette façon. L'usure peut être 1000 fois plus difficile, ou plus, dans la direction résistante que dans la direction facile. On sait maintenant relier cette usure par abrasion au coefficient de frottement. Les directions résistantes sont celles où le frottement est faible, et celles qui se laissent user ou polir le plus facilement sont celles pour lesquelles le frottement est élevé.

Cette observation, en soi, ne permet pas de décider entre les divers mécanismes d'abrasion possibles, mais elle ne s'oppose pas à un mécanisme dont nous avons d'autres preuves. L'érosion du diamant serait due en partie à une combustion ou à une graphitation en certains «points chauds». Une théorie simple laisse prévoir que la température des «points chauds» doit être proportionnelle au coefficient de frottement. Dans les directions où celui-ci est élevé, les «points chauds» sont très chauds, et la vitesse d'abrasion est grande. En fait, il est très difficile d'user la face octaédrique (111) du diamant. Or, sur cette face, le coefficient de frottement est faible dans toutes les directions (μ voisin de 0,05).

FROTTEMENT ET POLISSAGE DU DIAMANT À TRÈS GRANDES VITESSES

E. H. Freitag étudie actuellement le frottement et l'usure des métaux à très grandes vitesses, et vient d'étendre ses expériences au cas du diamant. On trouvera, sur la figure 6, un schéma de sa méthode expérimentale, fondée sur une technique élégante mise au point par J. W. Beams [5] pour une ultracentrifugeuse. Une sphère d'acier est maintenue suspendue par un électro-aimant; elle est illuminée, et son ombre tombe sur une cellule photo-électrique. Si la sphère s'affaisse, le courant dans l'aimant augmente. Si elle s'élève, le courant baisse, si bien que la sphère «flotte». Elle est dans une enceinte en verre où on a fait le vide, et on peut la faire tourner par un champ magnétique tournant. Lorsqu'elle a atteint la vitesse voulue, elle peut frotter trois surfaces planes en diamant. La baisse de vitesse de la sphère — d'où l'on déduit le frottement—peut se mesurer par un photomultiplicateur, qui observe un repère sur le haut de la sphère. Cet appareil permet d'atteindre des vitesses de frottement de plus de 1000 mètres par seconde. On trouvera des résultats caractéristiques, relatifs au frottement d'une surface d'acier sur le diamant, sur la figure 7 (courbe I). L'augmentation de vitesse amène une baisse du coefficient de frottement, et pour environ 200 mètres/seconde, $\mu = 0{,}02$. Mais si la vitesse augmente encore, il y a une augmentation brusque du frottement, et lorsqu'elle est voisine de 250 mètres/seconde, le coefficient s'élève jusqu'à 0,2. On comprendra cela en examinant les surfaces du diamant. La figure 13 (à gauche) représente la surface du diamant lorsque la vitesse de frottement dépasse 250 mètres/seconde; c'est une surface naturelle du diamant où l'on peut voir les triangles caractéristiques. La surface du diamant n'est pas attaquée, il y a seulement des traces du métal sur sa surface.

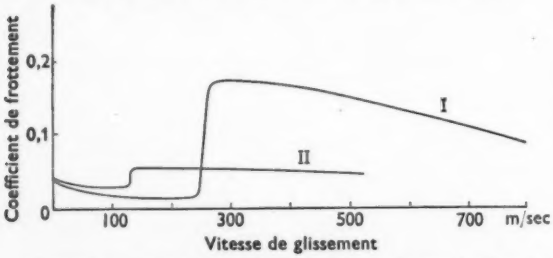


FIGURE 7 – *Courbe I: Frottement de l'acier sur le diamant à grande vitesse. D'abord le frottement décroît avec la vitesse, mais quand celle-ci atteint 250 m/s, il y a une augmentation brusque. Ceci est associé à un ramollissement et à une fusion de la bille due à la température élevée, avec passage du métal sur la surface du diamant (voir figure 13 (gauche)). Aux vitesses immédiatement inférieures, le diamant est facilement poli (voir figure 13 (droite)). A des vitesses encore plus faibles, il n'y a pas de polissage. Courbe II: résultats analogues pour le cuivre; la transition se produit à vitesse plus basse, parce que le cuivre fond plus bas.*

On trouvera sur la figure 13 (à droite) les modifications produites par le frottement à des vitesses juste inférieures à 250 mètres/seconde. C'est la face octaédrique dure du diamant qu'il est difficile de polir par les méthodes traditionnelles. Cependant, en quelques secondes, la sphère d'acier a réussi à y creuser un cratère. Cette observation est intéressante: si donc la vitesse de frottement est assez grande, environ 250 m/s, on peut polir le diamant sans faire appel à de la poussière de diamant, uniquement en le frottant contre un métal. Elle s'accorde avec l'hypothèse selon laquelle le polissage et l'abrasion sont dus, dans une large mesure, à la combustion ou à la graphitation du diamant à haute température. Si la vitesse de frottement est trop grande, il se produit un ramollissement relativement important de la surface du métal, le frottement est élevé, il y a des fragments de métal plaqués sur la surface, et pas de polissage. On observe un effet analogue, avec la même transition du frottement, avec une sphère d'acier recouverte de cuivre (figure 7, courbe II). Comme on pouvait s'y attendre, elle se produit à une vitesse moins élevée, parce que le point de fusion du cuivre est plus bas que celui de l'acier. Les vitesses à utiliser pour polir dans ces conditions sont naturellement d'un ordre de grandeur au-dessus de celles des disques revêtus de poussière de diamant, de la pratique traditionnelle. La surface du diamant, polie par frottement avec l'acier à une très grande vitesse présente un bon fini. Ces observations peuvent avoir un intérêt pratique: elles montrent que si la vitesse est assez élevée, des solides mous peuvent arriver à user des solides très durs.

INFLUENCE DE LA TEMPÉRATURE SUR LE FROTTEMENT DU GRAPHITE

On sait depuis longtemps que le frottement du carbone sous la forme graphite est faible ($\mu \simeq 0{,}15$). On l'a attribué à sa structure lamellaire, qui permet un cisaillement facile. Des études en Amérique [6] comme en Angleterre [7] ont montré que c'est là une simplification excessive. Si l'on dégaze complètement le graphite par chauffage dans le vide, le coefficient de frottement augmente considérablement ($\mu = 0{,}5$), et il y a un accroissement énorme de la vitesse d'usure. De petites quantités d'oxygène ou de vapeur d'eau

peuvent réduire le coefficient de frottement du graphite dégazé à sa valeur atmosphérique normale. Il semblerait donc que le faible frottement du graphite soit dû au moins partiellement à ces impuretés. Récemment Kenyon a mesuré le frottement du graphite, glissant sur lui-même et sur des métaux, à haute température et dans un vide élevé. Le coefficient de frottement du graphite sur lui-même est élevé à température ambiante ($\mu = 0{,}6$), mais il baisse lorsque la température augmente. A 2000°, il n'est plus que 0,2. Ceci peut être dû à un affaiblissement de forces de liaison entre lamelles, à température élevée. On obtient des résultats analogues dans l'étude du frottement du graphite sur le cuivre, l'argent ou l'or. Le coefficient de frottement baisse régulièrement jusqu'au point de fusion du métal. Mais avec d'autres métaux, comme le fer, le nickel, le thorium, le titane, le tungstène, le tantale et le molybdène, les phénomènes sont très différents. On observe d'abord une chute, puis vers 1000°, le coefficient de frottement commence à augmenter, et peut atteindre des valeurs très élevées ($\mu > 2$). Les métaux correspondants sont ceux qui peuvent former avec le graphite des carbures ou des solutions solides. Ce genre d'interaction augmente la surface de contact *A*, et la couche de surface, qui est peut-être un carbure métallique, est douée d'une résistance au cisaillement élevée, si bien que le frottement peut devenir très grand. Le cuivre, l'argent, l'or ne réagissent pas de cette façon, et le frottement est encore faible, même à quelques degrés de leur point de fusion.

FROTTEMENT SUR LE BOIS

D. Atack a fait un essai intéressant d'étude du comportement au frottement d'un solide plus complexe, tel que le bois. Les résultats préliminaires suggèrent qu'on peut exprimer le coefficient de frottement des métaux glissant à faible vitesse sur le bois par la combinaison simple de deux termes, l'un de déformation, l'autre d'adhérence. Un mécanisme aussi simple est à première vue surprenant, le bois étant un produit biologique complexe, ayant la structure d'un gel très poreux, et doué d'une très grande hétérogénéité physique et chimique.

On a étudié en détail le roulement et le glissement de sphères en acier et en P.T.F.E. sur deux espèces de bois analogues, d'anatomie relativement simple, le Pin d'Orient (*Picea glauca*) et le Baumier (*Abies balsamea*), en fonction de la teneur en humidité. On a choisi des échantillons de bois propre, on les a polis à l'émeri fin sous l'eau. On a étudié le glissement et le roulement en travers du grain dans la partie bois de printemps de l'aubier de sapin, et dans le bois de cœur du baumier.

On trouvera sur la figure 8 des résultats caractéristiques obtenus avec des bois ayant plus de 30% d'humidité. On voit que le frottement au glissement (μ_G) dépend du diamètre de la bille et de la charge. Tabor [8] a montré récemment que le frottement au roulement d'une bille sur caoutchouc ou sur acier était dû avant tout à des pertes par hystérésis élastique dans le bois. Les lubrifiants n'ont que peu ou pas d'effet sur le frottement lors du roulement, ce qui indique que le glissement ou l'adhérence interfaciales n'interviennent pas dans la résistance au roulement. Par suite, il semble raisonnable d'admettre:

$$\mu_{\text{glissement}} = \mu_{\text{roulement}} + \mu_{\text{adhérence}}$$

La valeur de $\mu_{\text{adhérence}}$ calculée de cette façon est indépendante à la fois du diamètre de la bille et de la charge, et on peut l'interpréter de la même façon que dans le cas des métaux. Il est surprenant que les courbes de la figure 8 représentent le comportement aussi bien de l'aubier de sapin que du cœur de baumier lors de glissement et de roulement à l'équilibre. Des études analogues faites sur le papier indiquent que dans le cas du papier comme dans le cas du bois, l'adhérence est due à des liaisons hydrogènes entre

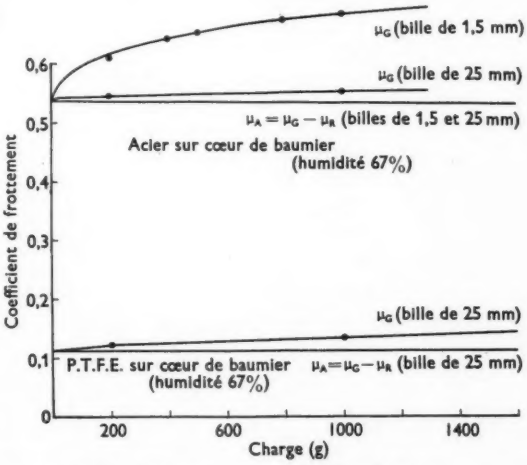


FIGURE 8 – *Le frottement sous glissement du bois, μ_G, peut être résolu en deux composantes, le frottement dû aux pertes par hystérésis élastique dans la déformation du bois, μ_R (c'est d'ailleurs la même chose que le frottement pendant le roulement) et le frottement dû à l'adhérence des surfaces: μ_A. μ_A suit les mêmes lois que le frottement des métaux, et est dû probablement à des liaisons hydrogènes entre les surfaces.*

les hydroxyles libres de la cellulose et la couche d'oxyde sur la surface de l'acier. Ceci expliquerait la faible valeur de l'adhérence avec le P.T.F.E., ce type de liaison n'étant alors plus possible. Le frottement lors du roulement d'une sphère de P.T.F.E. sur du bois est presque égal à celui d'une sphère d'acier de même dimension, toutes choses égales d'ailleurs. Il se produit une déformation plastique de plus en plus importante lors du roulement et du glissement lorsque l'humidité du bois tombe au-dessous de 30%. On peut calculer approximativement cette déformation en fonction des propriétés macroscopiques du bois.

ADHÉRENCE ET FROTTEMENT SUR LA GLACE ET LA NEIGE

L'adhérence de la glace sur un avion, comme sur un bateau naviguant dans les mers glaciales reste encore un problème important et L. E. Raraty a étudié certains des facteurs qui conditionnent cette adhérence. Ses expériences montrent que si les surfaces métalliques sont réellement dégraissées, l'adhérence de la glace à tous les métaux est plus grande que sa cohésion interne, si bien que toute rupture doit se produire dans la glace même. Ce sont donc les propriétés mécaniques de la glace qui déterminent son comportement.

Le bris de la glace ressemble à celui des métaux en ce que, selon les circonstances, la fracture est ductile ou cassante. Dans les conditions de travail de Raraty, on a des raisons de penser qu'entre 0 et —6° la fracture est ductile. Elle est influencée par la vitesse de déformation plastique et dépend beaucoup de la température. Au-dessous de —6° la rupture est cassante, et la résistance ne dépend plus de la température. Une impureté en petite quantité, un acide gras par exemple, sur la surface, réduira l'adhérence à une valeur basse, et la rupture se produira dans la couche d'impureté. Si cette couche est incomplète, l'adhérence dépend avant tout de la surface de métal non souillée d'impureté. La présence dans l'eau d'un peu de détersif dissous réduira appréciablement la force d'adhérence apparente.

Raraty a également examiné l'adhérence de la glace aux solides non-métalliques, en particulier aux plastiques. Le comportement général est le même qu'avec les surfaces métalliques, et avec certains plastiques l'adhérence superficielle est encore plus élevée que la cohésion de la glace elle-même. Ce n'est pourtant pas le cas avec tous les matériaux, et en particulier l'adhérence à la surface du polytétrafluoréthylène est très faible, et c'est à l'interface qu'il y a rupture.

Bien que la glace puisse adhérer fortement à certaines surfaces, le frottement lors du glissement sur la neige et la glace est très faible (μ voisin de 0,03). Osborne Reynolds [9] a suggéré que ceci était dû à la formation d'un film d'eau, par fusion sous pression. Cependant, nos propres expériences [10] ont montré qu'un tel phénomène ne pouvait intervenir qu'à des températures très proches de 0° et avec des surfaces en faible mouvement. Si la vitesse de glissement est appréciable, et la température plus basse que 0°, la fusion se produit, non sous l'effet de la pression, mais par un réchauffement dû au frottement. Le tableau III montre la chute brutale du coefficient de frottement lorsque la vitesse de glissement atteint quelques mètres par seconde. On a obtenu ces résultats avec des skis diversement traités. On a des raisons de penser que dans la pratique du ski, c'est le réchauffement dû au frottement et la fusion consécutive qui permettent un faible coefficient de frottement.

TABLEAU III

Influence de la vitesse sur le frottement sur la glace à —10°

Surface du ski	*Coefficient de frottement* (μ)		
	Statique	*A* 3 *cm/s*	*A* 5 *cm/s*
Bois ciré	0,20	0,18	env. 0,02
Bois laqué ..	0,40	0,36	env. 0,03
Perspex	0,35	0,32	env. 0,03
Aluminium ..	0,38	0,34	env. 0,04

Ces dernières années, nous avons associé la science et le plaisir, en faisant dans les Alpes des recherches sur le mécanisme du ski. Nous avons étudié le glissement sur la neige et la glace d'un certain nombre de solides, y compris de nouvelles matières plastiques [10]. La neige très froide se comporte comme tout autre solide cristallisé, et les résultats confirment une conclusion antérieure: la faiblesse du frottement est due à une fusion superficielle localisée produite par le réchauffement lors du glissement du ski. Il semble que le comportement soit influencé par l'angle de contact de la pellicule d'eau avec la surface. Le P.T.F.E. a des possibilités intéressantes, tant parce que son frottement intrinsèque est faible, que parce que son angle de contact est élevé; si bien qu'il n'est pas mouillé par l'eau. Nous pouvons aussi nous attendre à ce que l'établissement de liaisons hydrogène entre l'eau — ou la glace — et sa surface soit difficile. Les expériences ont

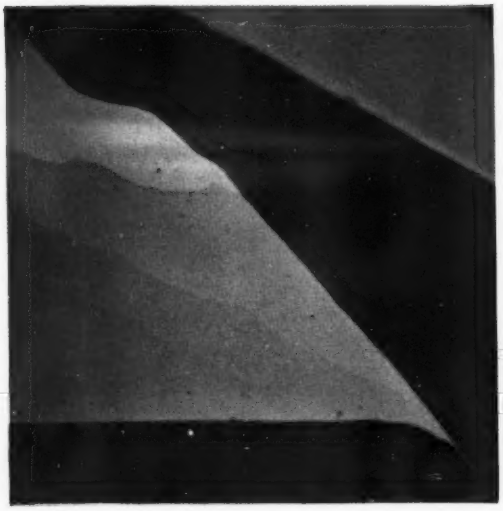
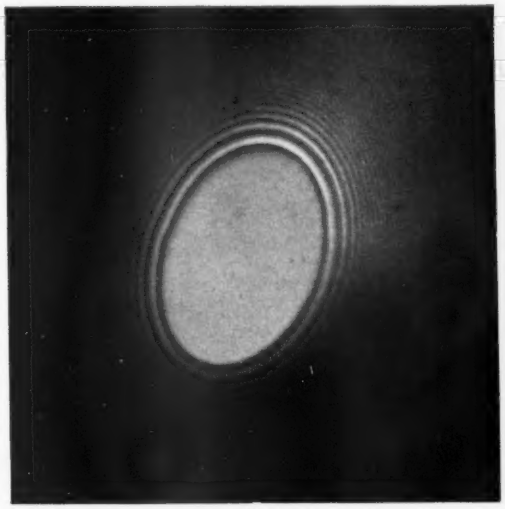
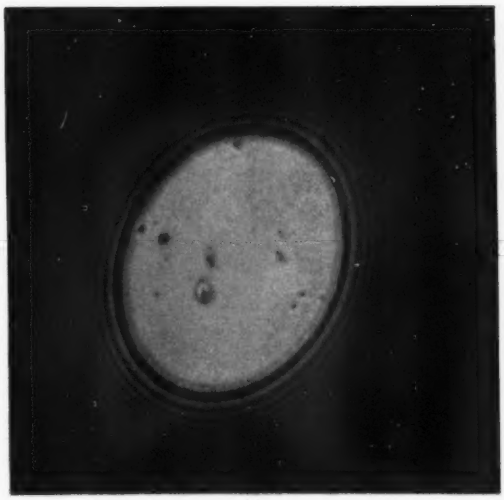


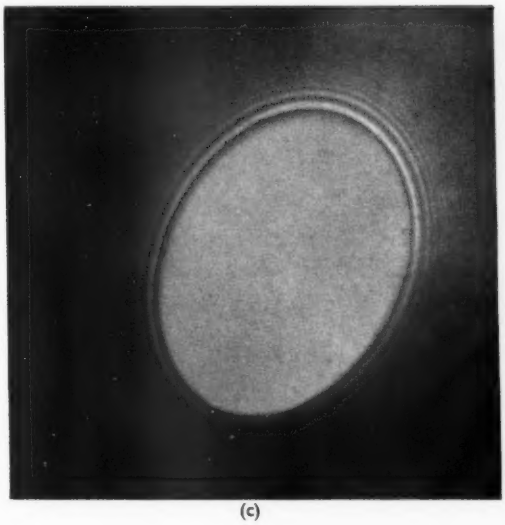
FIGURE 9 – *Interférences à ondes multiples d'une feuille de mica clivée. Les régions de couleur uniforme sont régulières moléculairement, et les frontières correspondent à un changement brusque d'épaisseur.* (× 15)



(b)



(a)



(c)

FIGURE 10 – (a) *Région de contact entre des surfaces de mica moléculairement régulières. Le contact est imparfait à cause de petites particules d'impuretés. On peut déceler une séparation de quelques ångströms seulement.* (b) *La même. Les surfaces sont au contact moléculaire dans toute la région de couleur uniforme. Les franges colorées sur le bord se forment à l'endroit où les feuilles se séparent.* (c) *Comme* (b), *sauf que la charge sur les feuilles a été augmentée, si bien que l'aire de contact moléculaire est plus grande.* (× 15)

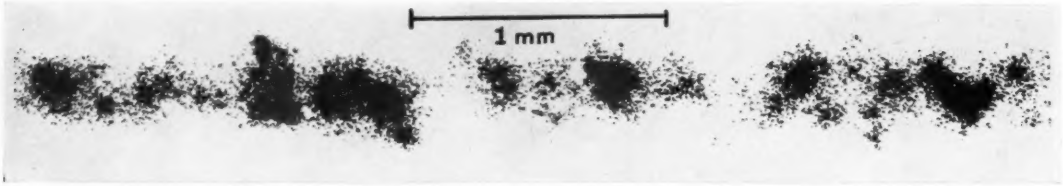
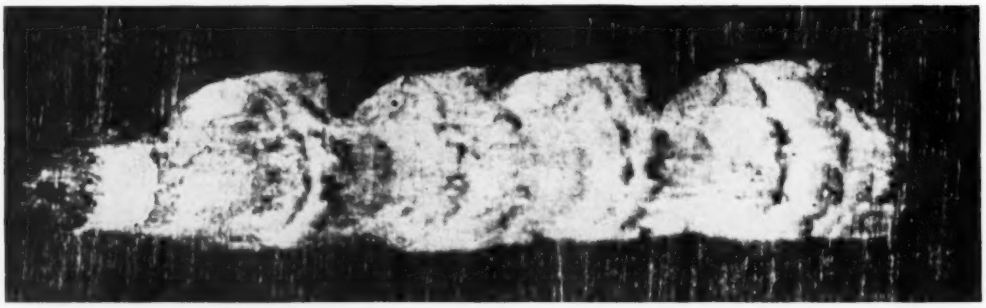
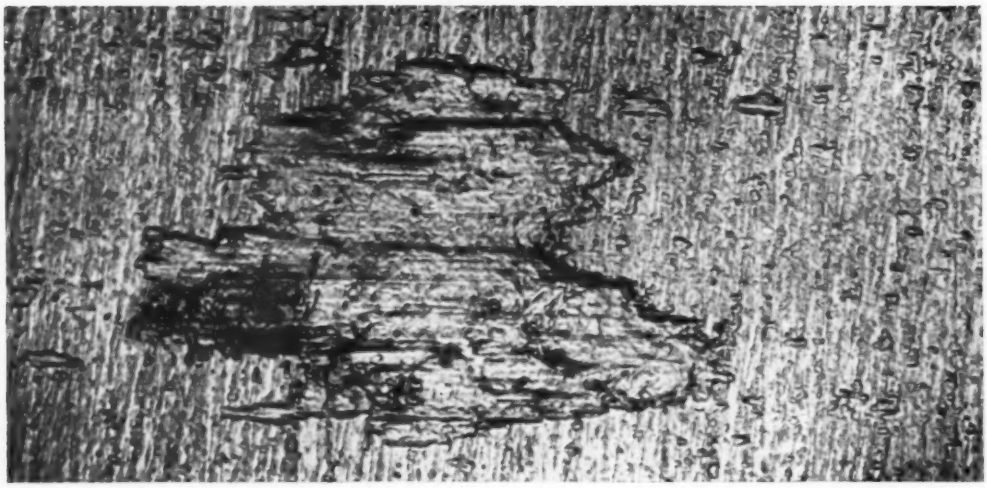


FIGURE 11 – *Autoradiographie montrant le transfert du cuivre sur une surface propre d'acier, après glissement à la vitesse de 0,01 cm/seconde sous une charge de 2 kg. L'acier a emporté de petits fragments, à peu près, en poids, 1 μg par cm de parcours.*

(a)



(b)



(c)

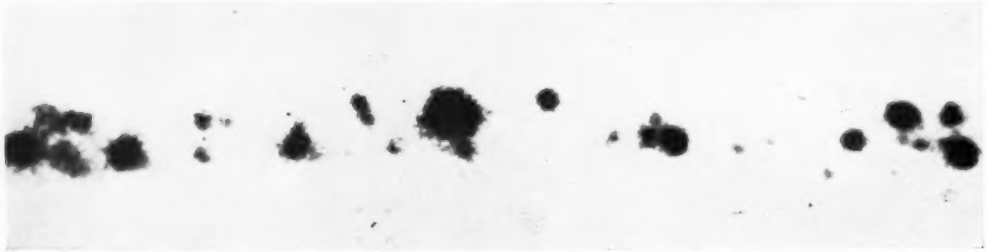
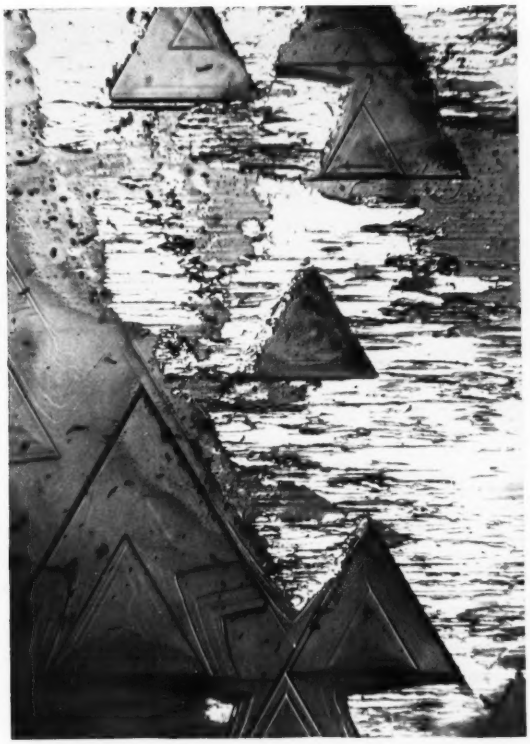


FIGURE 12 – (a) *Trace laissée par le chlorure de polyvinyle glissant sur lui-même. Il y a une soudure mutuelle.* (× 60) (b) *Trace formée lorsque le chlorure de polyvinyle glisse sur l'acier. La matière plastique est soudée à l'acier.* (× 400) (c) *Trace laissée par l'argent radioactif glissant sur le chlorure de polyvinyle. Il y a un transfert de métal (environ* 3×10^{-8} *g par centimètre de course) sur la matière plastique.* (× 20)



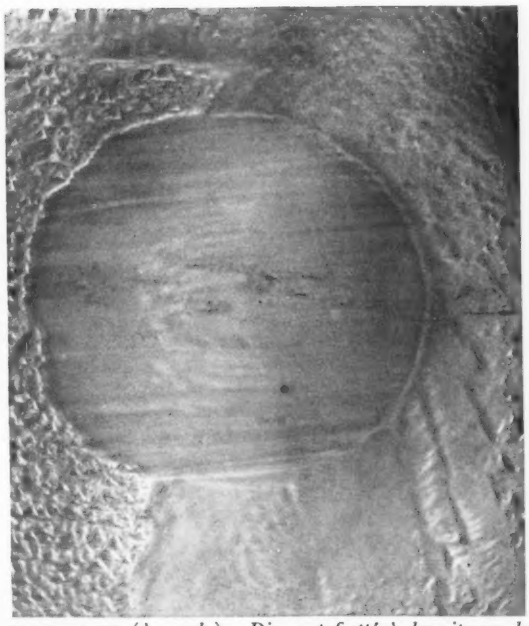


FIGURE 13 (*à gauche*) – *Diamant frotté à des vitesses de plus de 250 m/sec. La surface est intacte, et recouverte d'acier par endroits. Les triangles sont caractéristiques d'une face de diamant naturel* (× 170). (*à droite*) *Diamant frotté par de l'acier à des vitesses immédiatement inférieures à 250 m/s. La surface est facilement polie.* (× 200)

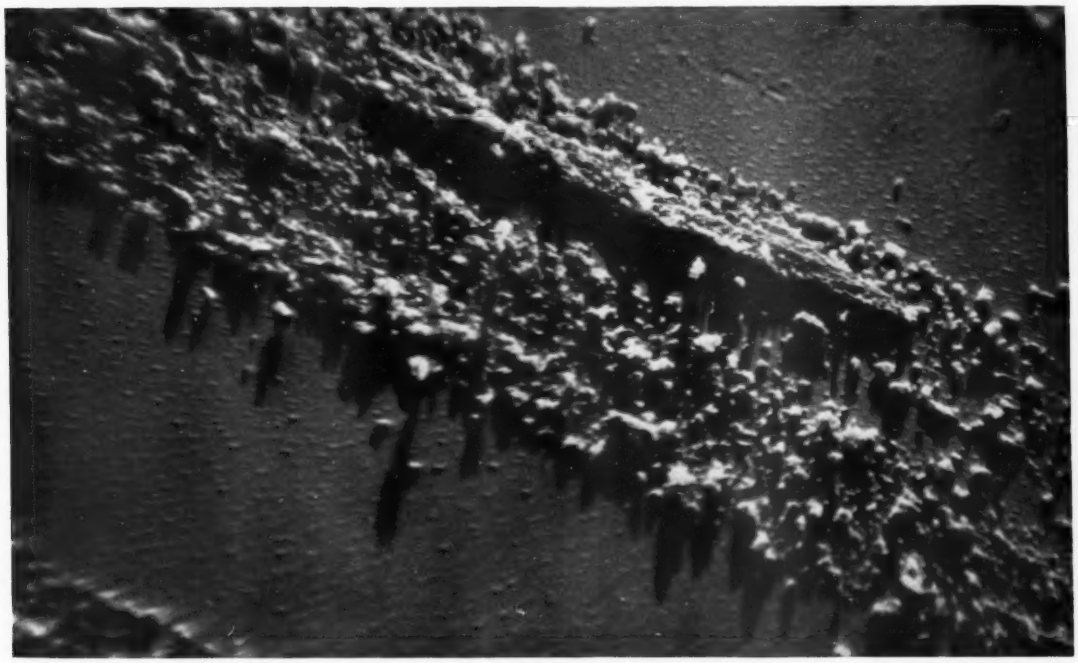


FIGURE 14 – *Micrographie électronique de la détérioration produite lors du glissement mutuel de deux surfaces de mica planes moléculairement.*

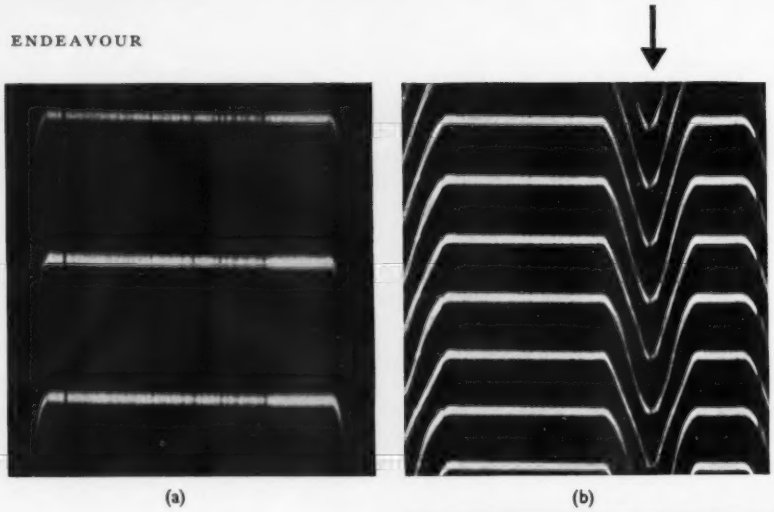


FIGURE 15 – *Franges de même rang chromatique utilisées pour l'examen des aires de contact des surfaces de mica.* (a) *Quand les surfaces sont en contact moléculaire, les franges correspondent à une même longueur d'onde, et sont plates.* (b) *La courbure des franges révèle la présence d'une petite irrégularité (indiquée par une flèche).*

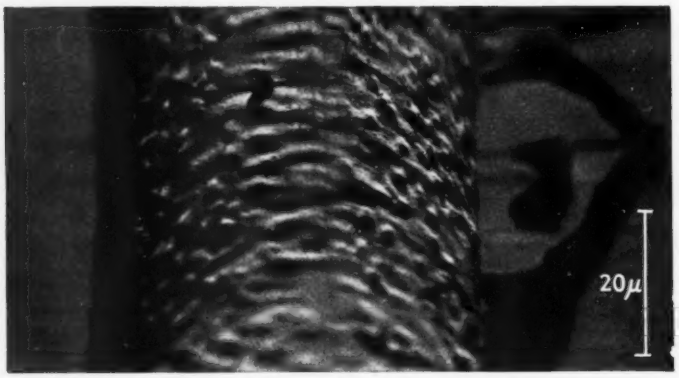


FIGURE 16 – *Micrographie électronique par réflexion d'une fibre de nylon (diamètre 50 μ). La courbure des «galets» est accentuée par l'inclinaison du faisceau incident. On peut voir la détérioration due au glissement.*

effectivement montré qu'il conduisait à un frottement très faible, lors du glissement sur la neige ou la glace, dans la plupart des cas. La figure 17 met en évidence le rôle sur le coefficient de frottement statique à diverses températures de divers enduits: un fahrt normal, un fahrt de compétition, et le P.T.F.E. On verra que pour toutes ces surfaces, le frottement baisse quand la neige se réchauffe, et que c'est le P.T.F.E. qui donne le moins de frottement. On a également chronométré des temps de descente soit de vrais skieurs, soit de poids morts portés par des skis. On trouvera des résultats caractéristiques au tableau IV.

Sous toutes nos conditions expérimentales, les skis P.T.F.E. vont appréciablement plus vite. Leur frottement est faible et uniforme, même sur neige changeante. On devrait leur trouver des applications utiles, pour autre chose que le ski: dans la construction des traîneaux, et pour l'atterrissage des avions sur des neiges très froides ou très mouillées.

FROTTEMENT ET ADHÉRENCE DES SURFACES MOLÉCULAIREMENT PLANES

Si les lois traditionnelles du frottement sont applicables, c'est que les surfaces ne sont jamais

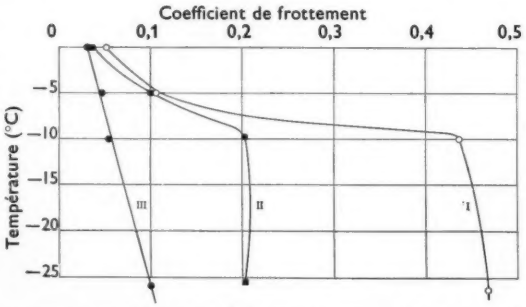


FIGURE 17 – *Influence de la température de la neige sur le frottement statique des skis. Courbe I: avec une laque pour ski. Courbe II: avec un fahrt. Courbe III: P.T.F.E. Le frottement est élevé à basse température et diminue quand la température approche de zéro. Avec P.T.F.E., le frottement est faible à toute température.*

régulières, si bien qu'il n'y a contact qu'en quelques régions. Si nous pouvions mettre au contact deux surfaces moléculairement planes, leur comportement serait tout différent. Récemment, Miss A. I. Bailey et J. S. Courtney-Pratt [12] ont fait des expériences de ce genre. Lorsqu'on clive de la muscovite de bonne qualité très soigneusement, le clivage se fait souvent suivant un seul plan du cristal, si bien qu'on peut réaliser des lames qui sont régulières moléculairement des deux côtés sur une surface appréciable. La grande difficulté de ces expériences, c'est d'être certain que les surfaces sont lisses, et qu'elles se touchent sur une région vraiment moléculaire. La moindre particule de poussière, ou une échelle de clivage, de seulement 10Å fausserait les expériences. S. Tolansky [13] a montré qu'un interféromètre à ondes multiples est un instrument puissant et ingénieux qui peut déceler des irrégularités de 3 ou 4Å de hauteur. On voit sur la figure 9 une lame de mica obtenue par clivage, examinée de cette façon. Les différentes couleurs correspondent à des épaisseurs différentes de la lame, et en chaque région de couleur uniforme, les surfaces sont moléculairement planes. Pour ses expériences, Miss Bailey choisit des lames lisses moléculairement, qui sont courbées en cylindre, et montées à angle droit. La feuille inférieure est fixée à la platine d'un microscope, et la feuille supérieure est maintenue par quatre ressorts égaux. On dépose sur la surface supérieure de la feuille du dessus une couche d'argent à pouvoir réflecteur élevé, de même que sur la surface inférieure de la feuille de dessous, de façon qu'il puisse y avoir des réflexions multiples entre les deux feuilles. L'appareil a été conçu pour permettre d'appliquer et mesurer des forces normales et tangentielles.

La région de contact est approximativement circulaire, et si les surfaces sont à une distance d'ordre moléculaire, la couleur de cette région sera uniforme. Sur la figure 10(*a*), on voit quelques irrégularités minimes (peut-être de petites particules de poussière) et les surfaces ne sont pas vraiment au contact. On décèle facilement des particules comme celles-ci, qui produisent une séparation de quelques ångströms seulement. Sur la figure 10(*b*), le contact est moléculaire dans toute la région. Si on accroît la charge sur les feuilles de mica, l'aire de contact augmente, ce que montre la figure 10(*c*).

On peut aussi examiner la région de contact par la méthode des franges de même ordre chromatique. Cette méthode, représentée sur la figure 15 a l'avantage de permettre une mesure commode de la hauteur absolue de toute irrégularité. Lorsque les surfaces sont au contact, les franges correspondent chacune à une longueur d'onde constante et sont droites (figure 15(*a*)). La présence d'une petite irrégularité se manifeste par une courbure des franges (position de la flèche sur la figure 15(*b*)).

On a étudié l'adhérence en mesurant la force nécessaire pour séparer ces surfaces dans une direction normale; au cours d'une expérience légèrement différente, on mesure le travail de séparation pendant le clivage lui-même (figure 18). Comme il est montré, on applique les forces *F* aux extrémités d'un morceau de mica, ce qui

TABLEAU IV

Temps de descente: Comparaison de skis fahrtés et de skis «nouveaux» (P.T.F.E.)

Série 1. Neige de printemps cristallisée; température de l'air 5°; température de la neige, 0°; pente douce de 213 m de long (piste préparée)

Poids sur les skis (kg)	*Temps de descente (secondes)*	
	Ski traditionnel avec fahrt norvégien et paraffine	*Ski «nouveau» (P.T.F.E.)*
76	61	42
63	83	54

Série 2. Neige fraîche tombée quelques heures auparavant; température de l'air, 10°; température de la neige, 0°; ski non chargé (piste tracée)

Détail de la pente	*Temps de descente (secondes)*	
	Ski traditionnel avec fahrt	*Ski «nouveau» (P.T.F.E.)*
Douce, 20 m de long	10	6
Plus raide, 30 m de long	6	3

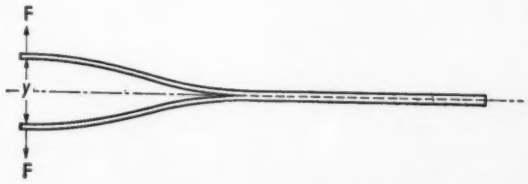


FIGURE 18 – *Méthode pour mesurer le travail nécessaire à la séparation de surfaces de mica régulières moléculairement.*

entraîne le clivage. On maintient les extrémités horizontales pour des raisons de commodité expérimentale. Par intervalles, on mesure la force F et la distance y pendant que le clivage s'opère. On enregistre simultanément les positions correspondantes de la ligne de bifurcation, par la technique à ondes multiples. Les valeurs de F et de y permettent de déterminer le travail total fourni pendant l'opération.

Au premier clivage, l'énergie nécessaire est de 300 ergs/cm². Si on remet les deux morceaux en contact moléculaire et qu'on clive une deuxième fois, on trouve que le mica est presque aussi solide qu'au départ. Le travail nécessaire est alors 250 ergs/cm². Ce résultat est surprenant, on aurait pu s'attendre à ce que le contact avec l'atmosphère ait provoqué l'adsorption de gaz et de vapeur d'eau, avec une perte correspondante de cohésion.

Si on sépare les feuilles et qu'on y dépose une couche monomoléculaire d'un acide gras fluoré, les feuilles adhèrent encore lorsqu'on les met au contact. On peut alors mesurer le travail nécessaire à la séparation de ces couches. Comme prévu, celui-ci est moins élevé: 155 ergs/cm². Ces résultats constituent des valeurs de l'énergie de surface des matériaux, puisqu'il s'agit du travail nécessaire à la création d'un interface air-solide de surface unité.

Avec l'appareil aux cylindres croisés, on peut mesurer la force nécessaire pour cisailler la jonction — c'est-à-dire le frottement. On a obtenu ainsi un chiffre très élevé: 10 kg/mm² comme résistance au cisaillement de surfaces de mica récemment clivées et mises au contact. Dans ces conditions, la surface de mica est très endommagée (voir figure 14). On a fait des observations analogues avec des feuilles de mica sur lesquelles on avait déposé un film monomoléculaire de lubrifiant superficiel. Il s'agissait de stéarate de calcium, déposé par la technique Langmuir-Blodgett. Il y avait une couche monomoléculaire sur chaque feuille. La résistance au cisaillement n'était plus que 250 g/mm², et la surface restait intacte. Ce résultat est utile à connaître: il montre que lorsqu'on fait glisser l'un sur l'autre des solides ordinaires lubrifiés, on doit dépenser une force considérable pour cisailler la pellicule de lubrifiant elle-même.

CONCLUSION

Il est évident que frottement et adhérence sont étroitement reliés. Le frottement est essentiellement la résistance au cisaillement, et l'adhérence, la résistance à la rupture des jonctions qui se forment aux régions de contact. Les matériaux doués d'un coefficient de frottement élevé sont en principe capables d'adhérer fortement. La possibilité que cette adhérence se manifeste effectivement dépend essentiellement des tensions élastiques libérées lorsq'on supprime la charge. Si on peut éviter ces tensions, ou si elles sont absorbées par la ductilité des jonctions, on observe l'adhérence potentielle; si on ne peut les éviter, l'adhérence pourra être très faible. Les lubrifiants, qui diminuent le frottement en diminuant l'importance des contacts métalliques, provoquent une réduction encore plus grande de l'adhérence. Des considérations analogues sont importantes pour comprendre l'effet des substances adhésives utilisées dans la pratique.

REMERCIEMENTS

Cet article est principalement un compte rendu de travaux récents que j'ai effectués avec mes collaborateurs (D. Atack, A. I. Bailey, D. M. Kenyon, L. E. Raraty et M. Seal), et je tiens à les remercier pour leur aide dans sa préparation, et la permission de citer des résultats non publiés. On trouvera en [1], avec les remerciements voulus, un compte rendu du travail fondamental.

BIBLIOGRAPHIE

[1] Bowden, F. P. et Tabor, D. «The Friction and Lubrication of Solids». Oxford University Press, 1950, Edition revue, Londres. 1954.
[2] McFarlane, J. S., et Tabor, D. *Proc. roy. Soc., A*, **202**, 244, 1950.
[3] Bowden, F. P. et Rowe, G. W. *Ibid.*, **233**, 429, 1956.
[4] Pascoe, M. W., et Tabor, D. *Ibid.*, **235**, 210, 1956.
[5] Beams, J. W. *J. Acad. Sci., Wash.*, **37**, 221, 1947.
[6] Savage, R. H. *J. appl. Phys.*, **19**, 654, 1948.
[7] Bowden, F. P. et Young, J. E. *Proc. roy. Soc., A*, **208**, 444, 1951.
[8] Tabor, D. *Ibid.*, **229**, 198, 1955.
[9] Reynolds, Osborne. «Mechanical and Physical Subjects». Cambridge University Press, Cambridge, 1901.
[10] Bowden, F. P. et Hughes, T. P. *Proc. roy. Soc., A.*, **172**, 280, 1939.
[11] Bowden, F. P. *Ibid.*, **217**, 462, 1953.
[12] Bailey, A. I. et Courtney-Pratt, J. S. *Ibid.*, **227**, 500, 1955.
[13] Tolansky, S. «Multiple Beam Interferometry». Oxford University Press, Londres. 1948.

La photosensibilité des animaux dépourvus d'yeux

par N. MILLOTT

Beaucoup d'animaux sans yeux peuvent percevoir la lumière et y répondre de diverses manières. Souvent c'est la surface générale du corps qui est sensible à la lumière, mais on ignore quelles sont exactement les structures absorbantes et la manière dont elles agissent. Le même type de sensibilité pourrait exister chez des animaux à yeux bien formés. On est fondé à croire que le mécanisme de perception est fondamentalement semblable à celui des yeux et que l'organisation du système sensoriel peut devenir étonnamment complexe.

La plupart des animaux possèdent, pour la perception de la lumière, des yeux complexes; ceux-ci ont une surface photoréceptrice hautement différenciée, ou rétine, souvent associée avec un système de lentilles qui concentre la lumière. Mais la perception de la lumière ne se fait pas uniquement par les yeux: non seulement il existe souvent des équivalents plus simples, les «taches oculaires», mais on peut trouver des cas où la surface générale du corps présente une sensibilité remarquable et nous nous intéresserons spécialement ici à ce type de perception de la lumière.

Il est intéressant d'étudier cette sensibilité, car nos connaissances sur les processus visuels autres que ceux des vertébrés sont peu importantes, mis à part quelques arthropodes et les calmars. Nous n'avons donc que peu d'idées sur l'évolution de la vision et, en dépit d'une étude intensive, il nous reste encore à obtenir beaucoup d'informations très importantes sur le fonctionnement des yeux. Il existe déjà des indications que le phénomène de perception de la lumière pourrait dépendre d'un schéma d'activité fondamentalement similaire pour un grand nombre de formes animales et la recherche de ce dénominateur commun peut nous permettre de combler certaines lacunes.

Le schéma commun comporte les processus suivants: (1) l'absorption de quanta d'énergie lumineuse qui élève le niveau d'énergie des molécules. C'est ce qu'on a appelé la photoréception primaire, qui se produit dans le photorécepteur. La lumière visible étant absorbée, il doit exister un pigment approprié qui détermine la sensibilité relative de l'animal dans les différentes régions du spectre. On reconnaît souvent les surfaces photoréceptrices grâce à cette pigmentation. (2) L'excitation d'un mécanisme couplé au précédent qui produit des modifications électriques, peut-être au moyen d'un rapide réarrangement de groupements chimiques réactifs, entraînant des mouvements ioniques. (3) Le transport de l'excitation le long de voies conductrices spécialisées (chez les animaux pluricellulaires: les nerfs).

Chez les protozoaires les plus simples on n'a pu encore identifier ni structures spécialement différenciées pour absorber la lumière, ni pigments spécifiques. Chez d'autres, même à ce niveau d'organisation unicellulaire, il existe une tendance à la localisation de la surface photoréceptrice sous forme de taches oculaires qui possèdent parfois un appareil dioptrique. On ne sait pas encore définitivement si la lumière absorbée par le pigment de la tache oculaire agit directement dans l'excitation ou si le pigment joue le rôle d'un filtre lumineux pour la surface réceptrice réelle, mal définie. Dans beaucoup de cas, la couleur de la tache oculaire suppose l'absorption des longueurs d'ondes efficaces pour l'excitation de l'animal, et certains travailleurs ont affirmé que la tache oculaire constitue elle-même le photorécepteur; d'autres soutiennent qu'elle ne fait qu'augmenter l'uniformité et la rapidité des réponses à la lumière. On peut considérer comme plus significative la présence de caroténoïdes, peut-être associés à une protéine, dans la tache oculaire (p. 27).

L'effet de la lumière peut être direct et local et provoquer des modifications de la densité et de l'élasticité du plasmagel, affecter la vitesse de sa transformation en plasmasol et influer ainsi sur le mouvement. Il peut aussi affecter la vitesse et la direction du mouvement en modifiant l'action des organites locomoteurs grâce à une coordination et une conduction de l'excitation, bien que l'on sache peu de chose sur l'existence d'un appareil spécialement adapté à ce but et sur la façon dont il peut fonctionner. L'animal peut réagir à une lumière

de direction constante ou à des changements d'intensité. Certains (par ex. *Stentor*) répondent à un accroissement, d'autres à une baisse, ou aux deux (par ex. *Volvox*).

Dans la diversité des animaux pluricellulaires les tendances vues chez les protozoaires apparaissent à nouveau et peuvent aller plus loin. La localisation et la spécialisation des surfaces photoréceptrices donnent des yeux très complexes, mais les effets locaux directs de la lumière et la sensibilité générale diffuse persistent à un degré surprenant, même dans des formes relativement évoluées, comme les amphibiens. Les effets locaux sont bien visibles sur certains chromatophores. La sensibilité diffuse apparaît comme un sens lumineux dermique. On la trouve dans presque tous les phylums [1].

Sous cette réserve, nous pouvons noter que le caractère de la réponse à la lumière varie beaucoup. Elle peut être localisée et isolée ou générale et intégrée, mettant en cause tout l'animal. On peut inclure dans cette dernière catégorie les mouvements de rétraction des hydroïdes, des anémones de mer, des vers tubicoles et des holothuries. On observe la photocinèse (locomotion dans une direction inconstante par rapport à la source lumineuse) chez les lamproies, les gastrobranches et les poissons-chats aveugles. Les brotulides et les poissons des cavernes montrent une phototaxie (locomotion dans une direction constante par rapport à la source lumineuse). Les mouvements tropiques (dirigés par la lumière) se produisent dans des organismes sessiles comme les hydroïdes ou les vers tubicoles.

On a souvent signalé des réponses particulières de certains organes. Ce sont souvent des manifestations localisées des réactions de retrait mentionnées ci-dessus. Des cas remarquables se produisent chez les mollusques *Pholas* (figure 14) et *Mya* où il y a rétraction du siphon en réponse à la lumière et chez le tunicier *Ciona* (figure 9) où il y a fermeture des ouvertures siphonales; ces réponses forment la base des études classiques de S. Hecht [2, 3]. C'est chez les échinodermes que de telles réponses indicatrices apparaissent de la manière la plus frappante; les myriades d'organes, doués d'une indépendance considérable — tels que les piquants, les pédicellaires et les pieds ambulacraires — répondent individuellement ou par groupes coordonnés. Les figures 19 à 21 illustrent quelques réponses des pieds ambulacraires de l'oursin *Lytechinus*. J. von Uexküll [4] et N. Millott [5] ont examiné en détail respectivement les réponses des piquants des oursins *Centrostephanus* (figure 4) et *Diadema* (figure 2). Des systèmes particuliers peuvent répondre à la lumière: par exemple, le système reproducteur par l'activité ovarienne et testiculaire, la maturation des cellules germinales et le frai. Les gamètes peuvent répondre à la lumière par des mouvements ou par la fécondation, les cellules germinales primordiales par la maturation. Beaucoup d'animaux montrent à la fois des réponses intégrées et locales.

Il peut exister un rapport entre le type de réponse et la qualité du stimulus. Les réponses cinétiques résultent d'une illumination soutenue, les réponses phototactiques ou phototropiques de lumières analogues mais dirigées; cependant la plupart sont des réponses localisées à des changements d'intensité. On peut obtenir ces réponses seulement pour un accroissement de l'intensité, par exemple chez le mollusque bivalve *Psammobia* ou l'échinoderme *Antedon* ou seulement pour une diminution comme chez les holothuries *Holothuria*, *Thyone* ou *Synapta*, les étoiles de mer: *Asterias* et *Cribrella*, les vers tubicoles comme *Branchiomma* (figure 10) et les bivalves comme *Cardium* et *Pinna*. On observe des réponses à l'augmentation comme à la diminution chez des mollusques comme *Chiton* et *Mactra* aussi bien que chez des échinides comme *Diadema* et *Centrostephanus*.

De telles indications de photosensibilité sont malheureusement les seules dont on dispose en attendant l'application de méthodes électrophysiologiques. Avec une telle limitation, il n'est pas surprenant qu'on ne possède que peu de démonstrations sûres de structures précises ou même de surfaces servant à la photoréception dermique.

On a obtenu la plupart des démonstrations directes en utilisant des stimuli localisés au moyen de petites taches lumineuses. On a montré par cette méthode [5] que la surface entière de *Diadema* est sensible à la lumière, mais pas uniformément. Newth et Ross en utilisant de plus larges taches ont montré une situation quelque peu semblable chez le gastrobranche. Les «yeux» de *Diadema antillarum* ressemblent à des iridophores (figure 15, ir.) et se comportent comme eux. D'ailleurs en dépit de leur description détaillée, on a plusieurs fois remis en question le caractère précis des yeux de *Diadema setosum*. Les mêmes considérations s'appliquent aux tentacules terminaux des échinides et aux organes supposés photorécepteurs de nombreux animaux; ainsi les taches pigmentaires appelées ocelles, autour des ouvertures siphonales de *Ciona* (figure 9) sont en

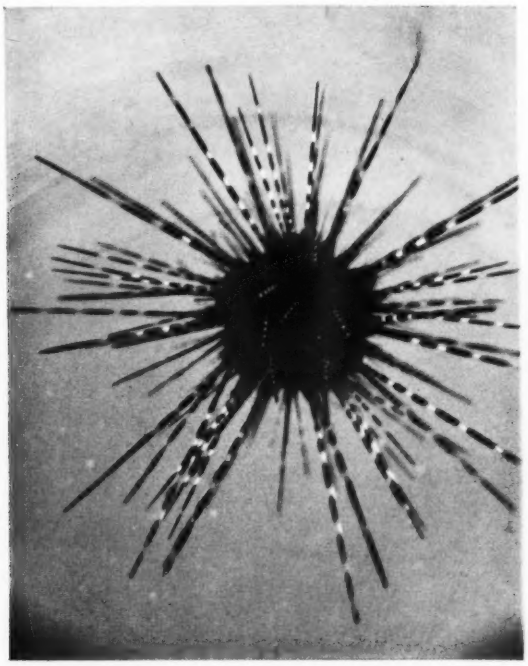


FIGURE 1 – Diadema antillarum. *Jeune sujet adapté à la lumière avec la mélanine dispersée sur la surface sensible à la lumière et la sensibilité à l'obscurcissement diminuée.*

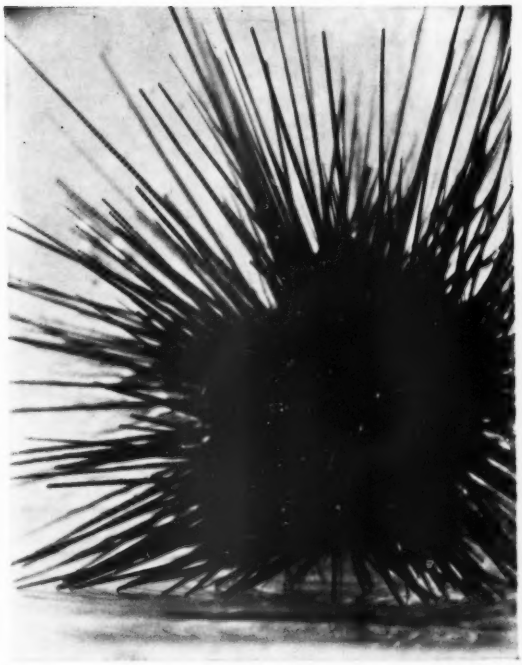


FIGURE 2 – Diadema antillarum. *Adulte, montrant la formidable armure de piquants venimeux qui se meuvent vigoureusement vers les objets portant ombre.*

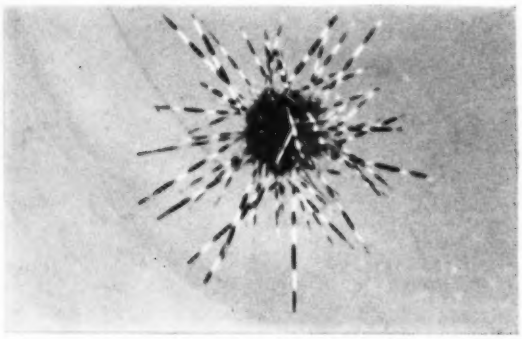


FIGURE 3 – Diadema antillarum. *L'animal est plus pâle à cause de la concentration de la mélanine qui découvre la surface du test sensible à la lumière, si bien que la sensibilité aux ombres est augmentée.*

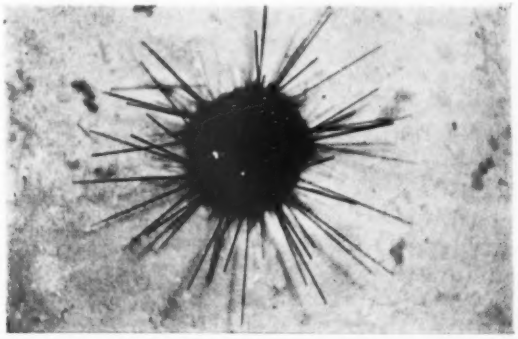
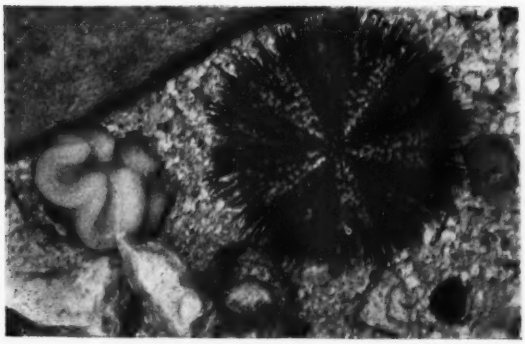
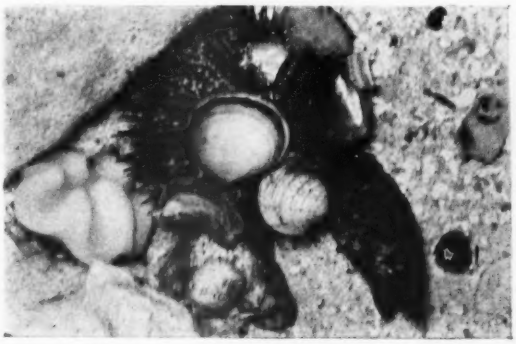
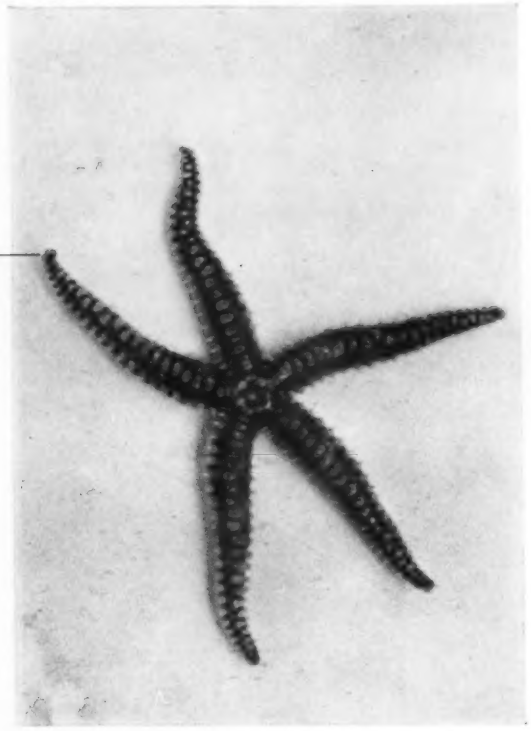


FIGURE 4 – Centrostephanus longispinus, *qui montre aussi des mouvements de piquants bien marqués et un changement de couleur en réponse aux modifications de l'intensité lumineuse.*





FIGURES 5 ET 6 – Lytechinus variegatus, *montrant la réaction de camouflage. La figure 5 (à gauche) le montre, une fois retirée sa couverture de débris. La figure 6 le montre tel qu'il apparaît dans les eaux éclairées peu profondes: couvert de débris, parmi lesquels des coquilles de mollusques.*



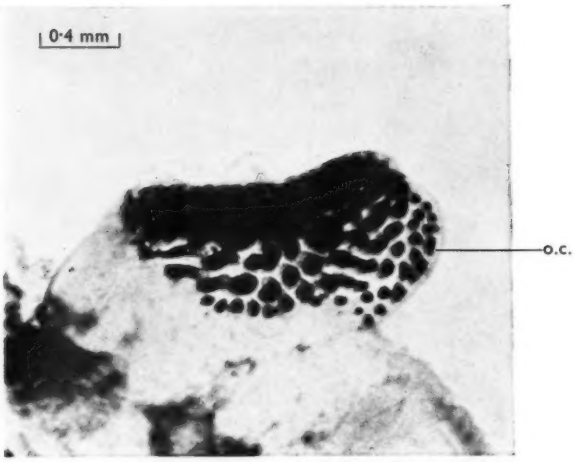


FIGURE 7 – Marthasterias glacialis. *Tache oculaire prélevée (coussin optique) montrant les coupes optiques (o.c.), dont la couleur est due au β-carotène et à l'astaxanthine.*

FIGURE 8 (*à gauche*) – Marthasterias glacialis, *montrant la position de la tache oculaire (e.s.), il y en a une à l'extrémité de chaque bras. La couleur de la paroi du corps est due aux mêmes pigments que ceux des taches oculaires.*

FIGURE 9 – Ciona intestinalis, *qui répond à la lumière par la rétraction des siphons (s). Les «ocelles» (e) ne sont pas sensibles à la lumière.*

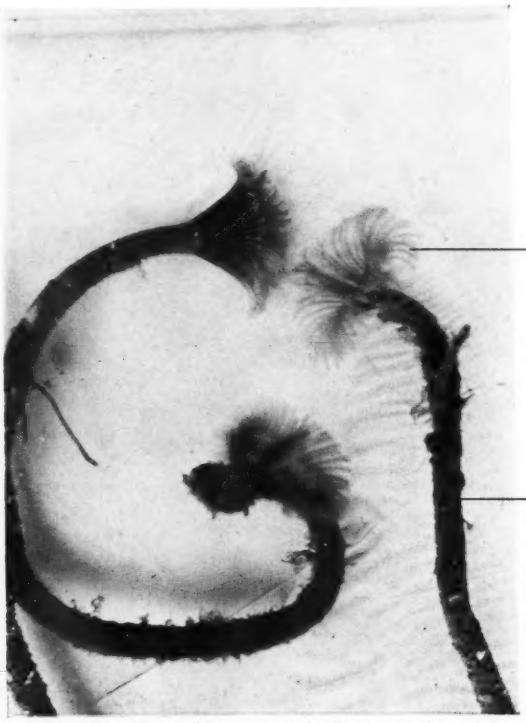


FIGURE 10 – Branchiomma vesiculosum, *qui se rétracte dans son tube (t) quand une ombre l'atteint, montrant la couronne de tentacules (c.t.) sensible à la lumière.*

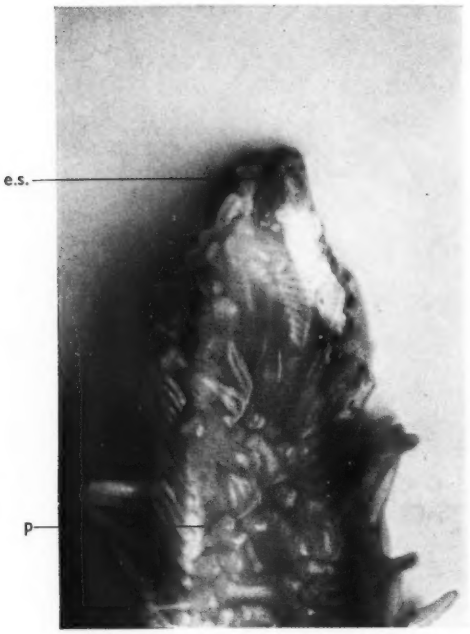


FIGURE 11 – Marthasterias glacialis; *surface inférieure (orale) de l'extrémité d'un bras montrant la tache oculaire (e.s.), mise en évidence en retirant une partie de la paroi du corps avoisinante. p., pieds ambulacraires.*

FIGURE 12 – *Partie d'une coupe transversale de la larve ammocète de lamproie montrant la mélanine (m), absorbant la lumière, qui protège le système nerveux central (n.t.). nch., corde dorsale.*

FIGURE 13 – Diadema antillarum; *partie d'une coupe de la base d'un piquant, montrant les mélanophores (m) qui protègent la couche nerveuse superficielle (n.l.). ep , épiderme.*

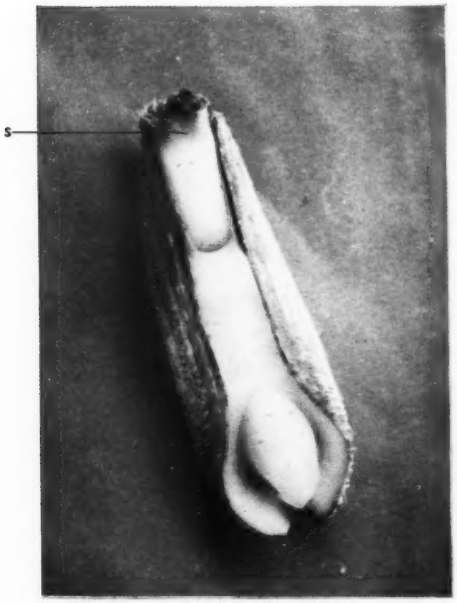


FIGURE 14 – Pholas dactylus, *montrant le siphon (s) qui se rétracte lors des changements d'intensité lumineuse. La surface entière est sensible à la lumière.*

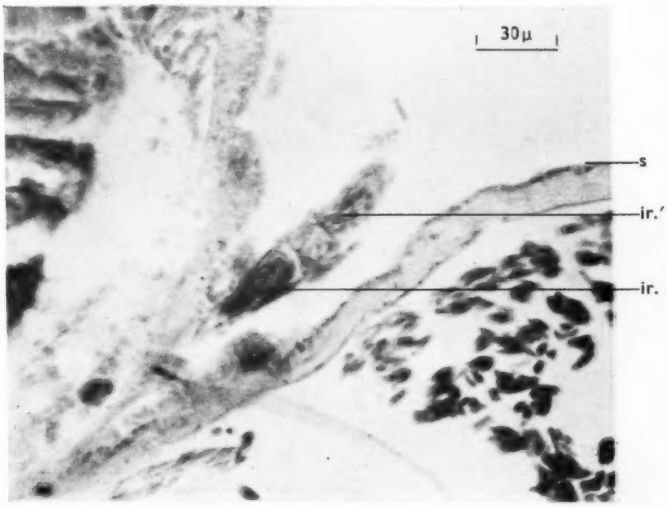
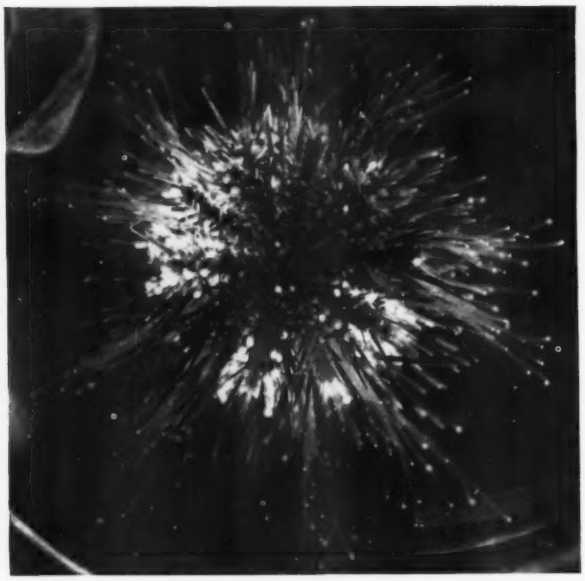


FIGURE 15 – Diadema antillarum; *coupe de la région située entre deux bases de piquants montrant deux iridophores (ir. et ir.'). s, épiderme externe.*



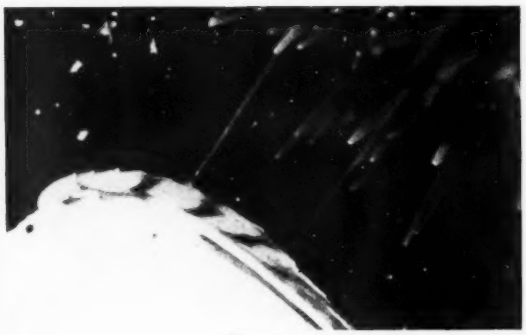


Figure 17

FIGURE 16 (*à gauche*) – Lytechinus variegatus. *Jeune sujet montrant les pieds ambulacraires en extension qui ramassent des débris au voisinage et les maintiennent pour mettre la surface aborale à l'abri de la lumière. Les extrémités blanches des pieds sont des ventouses.*

FIGURES 17 ET 18 – Lytechinus variegatus. *Deux stades du phénomène de camouflage. La figure 17 montre deux pieds ambulacraires en extension attachés par leurs ventouses à une coquille de mollusque (en bas, à gauche). On voit l'extrémité des piquants de l'oursin en haut, à droite. Figure 18. Stade postérieur, montrant la coquille, ainsi que deux autres, une fois poussée sur les piquants par les pieds ambulacraires. D'autres pieds se sont appliqués à la coquille.*

Figure 18

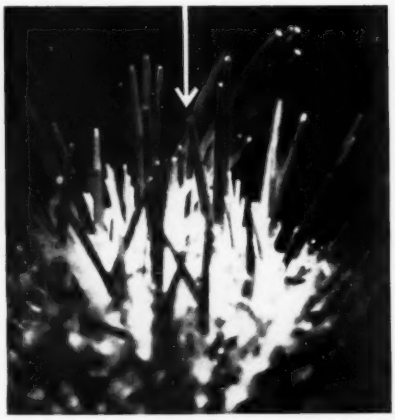


Figure 19

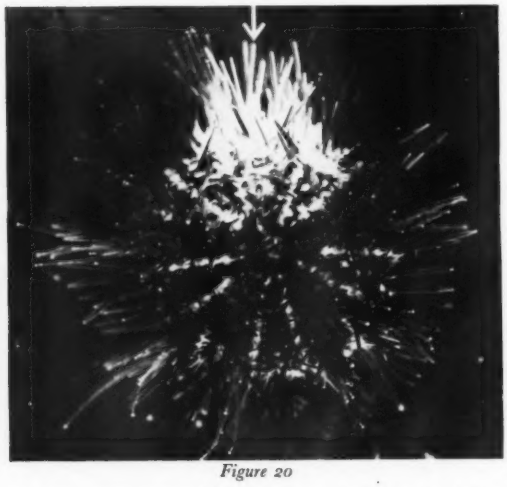


Figure 20

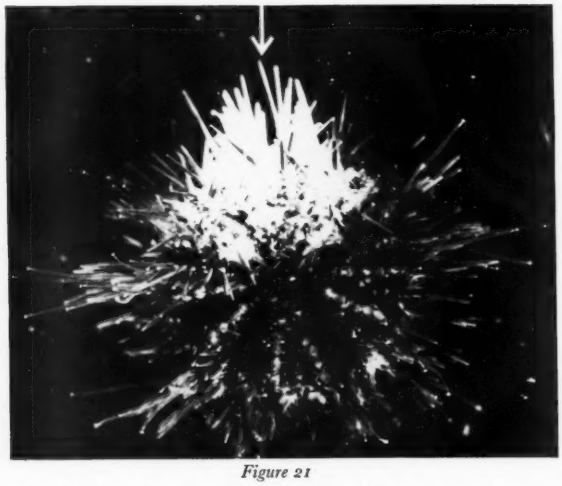


Figure 21

FIGURES 19–21 – Lytechinus variegatus; *réactions des pieds ambulacraires à la lumière. Figure 19. Extension à la suite d'une baisse d'intensité lumineuse; le pied situé dans le rayon lumineux (dirigé suivant la flèche) a été photographié alors qu'il était encore en train de s'étendre en réponse à une brève interruption du rayon lumineux. Figure 20. Extension des pieds (reconnaissables à leur ventouse terminale blanche) immédiatement après le passage d'une lumière faible à celle d'un rayon intense dirigé suivant la flèche. Figure 21. Après 10 minutes, les pieds situés dans le rayon lumineux n'ayant pas atteint de débris se sont rétractés, les autres sont toujours étendus.*

fait insensibles à la lumière. Chez les vers tubicoles et les étoiles de mer la situation est ambiguë. Les taches oculaires des tentacules de la couronne branchiale de *Branchiomma* ne sont pas essentielles à la réponse la plus caractéristique aux changements de l'intensité lumineuse et chez les étoiles de mer la fonction des yeux est loin d'être claire. La plupart des chercheurs admettent que la peau des différentes étoiles de mer est photosensible, mais si l'on a dit que les yeux (figures 7 et 11) d'*Asterias* et de *Solaster* sont essentiels pour les réponses phototactiques (ceci a été mis en doute récemment pour *Asterias forbesi*), ceux d'*Echinaster* ou d'*Asterina* ne sont pas jugés nécessaires pour l'orientation. En plus de leur fonction dans l'orientation, on a montré que les yeux d'une espèce non précisée d'*Asterias* sont véritablement sensibles à la lumière, en utilisant la technique parfaite de Hartline qui recueille les influx électriques dans la tache oculaire, à la suite de la stimulation lumineuse [10]. Ici la sensibilité dermique coexiste avec des yeux différenciés, situation que l'on retrouve chez d'autres formes, particulièrement les insectes dont les yeux sont beaucoup plus compliqués. On sait que cette dualité de mécanismes existe chez certains crustacés, les daphnies notamment, qui ont récemment fait l'objet d'une nouvelle étude de J. E. Harris et P. Mason; mais on ignore encore où se trouve le siège de leur sensibilité diffuse.

En dehors des yeux, la photosensibilité de la surface générale du corps peut montrer certaines différenciations. Ainsi chez divers mollusques à sensibilité diffuse, le bord du manteau, les branchies et l'extrémité des siphons sont plus sensibles. Chez certains vers tubicoles, la sensibilité est restreinte aux tentacules (figure 10), dont le quart distal est plus sensible que le reste. Chez les cyclostomes, les régions les plus sensibles sont, soit la partie antérieure, soit à la fois les parties antérieure et postérieure. Chez les poissons les parties postérieures sont les plus sensibles. Chez le balanoglosse *Ptychodera*, comme chez le ver de terre, l'extrémité antérieure du corps est la plus sensible. On a signalé dans certaines étoiles de mer une différenciation intéressante: les pieds ambulacraires et les branchies sont particulièrement sensibles à la lumière soutenue, tandis que la surface du corps est plutôt sensible à des modifications de l'intensité. Chez les holothuries, comme *Synapta*, toute la surface est sensible aux deux excitations. Chez *Holothuria surinamensis* toute la surface est sensible à la mise à l'ombre, mais le bord du cloaque l'est particulièrement, l'extrémité postérieure et les tentacules moins, et les ambulacres encore moins.

En établissant un rapport entre la distribution différentielle de sensibilité sur la surface du corps et la structure histologique, on a tenté d'identifier les structures précises assurant la photoréception. Chez les vers de terre et le bivalve *Mya*, les régions sensibles comprennent des cellules spéciales, ayant des organites en lentille, qui se prolongent en fibres nerveuses; cet appareil dans son ensemble paraît être un photorécepteur. Steven a décrit dans la peau de la larve de lamproie des cellules disséminées, apparemment sensorielles contenant ce qui paraît être une combinaison protéine-caroténoïde. Leur large distribution et leur pigmentation (voir ci-dessous) ainsi que certains caractères d'adaptation à l'obscurité suggèrent que ces structures peuvent servir à la photoréception. Crozier a suggéré que les cellules pigmentées de la peau d'*Holothuria surinamensis* pourraient être photoréceptrices. Cependant, en général, la localisation de la sensibilité est trop mal définie pour être d'un grand secours et il faudrait faire appel à la méthode plus probante de la démonstration électrophysiologique de la photosensibilité. Beaucoup de travailleurs ont cherché des structures histologiquement définies ou manifestement pigmentées. Pourtant, une telle différenciation n'est pas essentielle, car, sans tenir compte de l'insuffisance de la technique, l'organisation biochimique ne se traduit pas nécessairement par une différenciation histologique visible. Il en est de même pour la préoccupation de mettre en évidence des pigments visibles, car les protozoaires les plus simples réagissent effectivement à la lumière sans pigment apparent. De même, l'analyse biochimique magistrale de G. Wald [6] et de ses collaborateurs et les analyses physiologiques analogues de R. Granit [7], W. A. H. Rushton et d'autres indiquent que, même dans certains yeux très complexes, l'excitation n'utilise que relativement peu de pigment photosensible et qu'autant qu'on puisse le savoir actuellement, la plus grande partie de celui-ci constitue une réserve.

La photosensibilité récemment signalée chez l'échinide *Diadema* a montré qu'il existe une correspondance remarquable entre la distribution de la sensibilité et celle des éléments nerveux, tant superficiels que profonds [5]. Bien que, tout comme les découvertes antérieures de J. Z. Young sur la lamproie, ce fait ne constitue pas une preuve, il n'en suggère pas moins la possibilité d'une excitation directe de ces éléments par la lumière. Une telle idée n'est pas orthodoxe, car on admet

généralement que les systèmes de perception de la lumière impliquent l'existence de photorécepteurs morphologiquement spécialisés. Un tel effet direct sur les nerfs ne semble pas improbable pourtant, car les appareils recueillant l'excitation dans les photorécepteurs, les cellules et les fibres nerveuses ont des manifestations électriques analogues. De plus il permettrait d'expliquer l'extension de la photosensibilité dermique chez les échinides, dont une grande partie du système nerveux se trouve immédiatement sous la surface. On ne possède pas de démonstration de cette propriété pour les nerfs d'échinodermes, mais il existe des indications de la possibilité d'exciter, chez d'autres animaux, d'autres structures nerveuses que les photorécepteurs spécialisés; on peut citer comme exemple le sixième ganglion abdominal de l'écrevisse, et du homard, le ganglion génital de l'aplysie et certains éléments nerveux du cerveau de la lamproie, du vairon et du canard. Dans les deux premiers cas, on a pu enregistrer l'activité électrique résultant de l'action de la lumière.

Des indications d'un autre type dérivent d'expériences où l'addition de colorants rend les nerfs sensibles à la lumière, par exemple ceux de grenouille ou de crabe. Il se peut qu'elles révèlent l'existence d'une sensibilité potentielle à la lumière dans ces nerfs qui peuvent ne manquer, à l'état normal, que d'un corps absorbant convenablement la lumière. Pourtant l'on sait depuis longtemps que l'éosine utilisée dans ces expériences provoque dans la matière vivante des effets essentiellement destructeurs. Ces effets ressemblent à des oxydations photosensibilisées, spécialement de groupements —SH («action photodynamique») et diffèrent fondamentalement des phénomènes normaux de photosensibilisation dans la matière vivante [8]. L'étude des animaux à photosensibilité diffuse a déjà ouvert ce qui peut constituer une nouvelle perspective sur ce problème fondamental, car l'oursin *Lytechinus* (figures 5 et 6), qui normalement se cache en lumière violente, peut être amené à le faire en lumière relativement faible, grâce à des injections de colorants photodynamiques, comme l'éosine Y ou le rose bengale. Comme le montrent les figures 17 à 21, il s'agit d'une réponse complexe comportant des réactions des pieds ambulacraires à la lumière continue soutenue (figures 20 et 21) et aux changements d'intensité (figure 19). Le résultat de ces réactions coordonnées est la récolte dans les environs immédiats de coquilles ou de débris, maintenus ensuite, comme des ombrelles, au-dessus de la surface sensible à la lumière. Dans ce cas, le colorant injecté a photosensibilisé une succession d'événements normale, complexe et coordonnée.

En dépit du grand nombre d'observations, on compte peu de tentatives sérieuses d'analyser, en termes thermodynamiques, les mécanismes qui interviennent dans la sensibilité dermique à la lumière. Les études classiques [2, 3] sur *Ciona* et *Mya* restent encore la base de telles analyses.

Hecht concevait deux phénomènes principaux résultant de l'action de la lumière. Le premier photochimique, non influencé par la température, et montrant une certaine conformité aux relations inversement proportionnelles temps-intensité, imposées par la loi de Bunsen-Roscoe et le deuxième, postérieur et «obscur», conforme aux réactions du type thermique. Une étude des relations entre l'intensité de la lumière appliquée et l'intervalle qui sépare son application du début de la réaction (temps de réaction) ainsi que les modifications de la sensibilité dues à l'obscurité, l'ont conduit à postuler la relation fondamentale suivante, pour une intensité donnée:

Temps de réaction = période de sensibilisaton
+ période latente.

Le temps de sensibilisation est le temps minimum pendant lequel il faut éclairer l'animal pour obtenir une réaction.

A partir de ces relations et de leur caractéristique de température, et aussi de la variation du temps de sensibilisation en raison inverse de l'intensité, de la capacité de l'animal à atteindre un équilibre sensoriel pour une intensité donnée, et de la variation du temps de réaction après une période d'obscurité, il postulait comme phénomènes fondamentaux de la sensibilité à la lumière des réactions du type suivant:

1. Une réaction photochimique bimoléculaire dans laquelle une substance photosensible S se décompose à la lumière, en donnant P (précurseur de S) et une substance accessoire A. P et A se recombinent dans la réaction primaire «obscure».

$$S \underset{\text{obscurité}}{\overset{\text{lumière}}{\rightleftarrows}} P + A$$

2. Une des substances P ou A, ou les deux, est supposée catalyser une réaction «obscure» secondaire, au cours de laquelle une substance inerte L se transforme en une substance active T, qui stimule le nerf sensitif.

Hecht se rendait compte du grand nombre d'insuffisances du schéma qu'il proposait délibérément sous la forme concrète la plus simple possible.

Ainsi il faisait remarquer que la réaction (1), présentée comme réversible par commodité, est en réalité probablement plus complexe et non strictement réversible. Dans (2) il suggérait qu'une catalyse par les produits de la photolyse était un des moyens possibles de production de T, mais en envisageait d'autres, par exemple une combinaison de L et d'un produit de la photolyse.

On croyait que les deux réactions «obscures» étaient consécutives, mais Newth et Ross, se basant sur l'étude du gastrobranche, suggèrent qu'elles sont simultanées ou chevauchent. Steven, sur le même animal, a noté que les réactions à la lumière comportent une réponse initiale, parfois locale, et une réponse plus tardive de nage. Il a donc suggéré qu'il existe ici deux niveaux d'excitation responsables de la double réponse.

Les études étendues de Wald et de ses collaborateurs ont montré la nécessité d'une complication beaucoup plus grande si le schéma doit rester applicable aux phénomènes de la rétine, où ils ont montré que la régénération des substances photosensibles est un phénomène complexe faisant intervenir à la fois des réactions endothermiques et exothermiques ainsi qu'une enzyme d'isomérisation sensible à la lumière.

Crozier postule, pour la stimulation des nerfs chez l'holoturie *H. surinamensis*, les produits de la décomposition d'un pigment cutané et des modifications de sa concentration dues à des changements d'intensité lumineuse.

La nature du pigment absorbant est un aspect capital de tout mécanisme de perception de la lumière, car son absorption spécifique est un facteur limitant décisif de la sensibilité. La sensibilité dans les différentes régions du spectre peut donc aider à l'identification du pigment en cause; mais bien que les pigments présents dans beaucoup de types d'yeux aient été identifiés, nous ne possédons aucune démonstration directe de la nature des pigments intervenant dans la sensibilité dermique à la lumière. Cette identification paraît difficile car dans beaucoup de cas, à en juger par l'absence totale de couleur à l'œil humain, on ne les trouve qu'en petite quantité. De plus, chez certains oursins (figure 2), ils se trouvent masqués par des quantités relativement grandes de pigments cutanés, comme la mélanine, qui ne jouent aucun rôle direct dans la vision. Il est compréhensible que beaucoup de travailleurs aient cherché des indices dans les yeux où, même dans les plus simples, les pigments sont plus concentrés. On a identifié beaucoup de pigments oculaires principalement chez les vertébrés, mais aussi chez des arthropodes et des céphalopodes. Leur uniformité est frappante; ce sont tous des caroténo-protéides. L'un d'eux, l'astaxanthine, se retrouve dans les parties des plantes douées de phototropisme. Leur absorption dans le spectre montre clairement l'étroite association de ces pigments avec la photosensibilité. Une correspondance assez étroite entre les régions du spectre les plus évocatrices de réponses chez les animaux percevant la lumière par d'autres moyens que les yeux, et les régions du spectre les plus fortement absorbées par ces pigments visuels connus, suggère que les mêmes types de pigments doivent intervenir. Ainsi, Steven a montré que la sensibilité spectrale de *Mya*, *Ciona*, *Pholas* et *Lampetra* est compatible avec l'absorption de dérivés de la vitamine A du type rhodopsine-porphyropsine. Il faut être prudent dans l'identification des systèmes photosensibles avec des composés donnés, car dans les caroténo-protéides l'absorption varie avec la partie prosthétique et la partie protéique. On doit aussi tenir compte de beaucoup de facteurs physiques [9] pour faire des comparaisons appropriées et valables entre l'absorption et la sensibilité dans le spectre.

D'autres indications découlent d'études des pigments de la peau et des taches oculaires des étoiles de mer. Ainsi chez *Marthasterias* (figures 7 et 8) les pigments prédominants sont dans les deux cas le β-carotène et l'astaxanthine estérifiée, mais il serait prématuré de tirer des conclusions définitives de telles observations puisqu'il n'est pas encore prouvé que les taches oculaires de *Marthasterias* soient photosensibles. Néanmoins, il existe une condition analogue chez *Asterias forbesi*, où la peau et les taches oculaires contiennent un pigment photosensible, encore non identifié. Comme on l'a déjà mentionné, Hartline a pu démontrer de façon concluante l'existence d'une réponse à la lumière dans la tache oculaire d'une espèce d'*Asterias*.

Des pigments qui ne servent pas directement à la vision peuvent jouer un rôle indirect important comme pigments de protection et de filtration dans les surfaces sensibles à la lumière, dans les yeux et ailleurs. Les résultats de Blum et Fox sur la sensibilité spectrale du flagellé *Dunaliella* suggèrent qu'un pigment de ce type doit exister même chez les protozoaires, et des caroténoïdes comme l'astaxanthine paraissent fonctionner de cette manière dans les yeux complexes des crustacés. Les mélanines, grâce à leur forte absorption et à leur distribution histologique, se sont souvent vu attribuer un rôle protecteur pour les

structures sensibles à la lumière. Ainsi chez les lamproies un pigment de ce type répandu dans la peau et autour de la moelle épinière (figure 12), comme l'avait déjà montré Young, protège le système nerveux central et les nerfs de la ligne latérale, sensibles à la lumière. On a démontré [5] le rôle important de la mélanine dans la sensibilité dermique à la lumière de *Diadema*, où le pigment participe à un changement de couleur (figures 1 et 3). La sensibilité aux changements d'intensité lumineuse, marquée par des réponses de locomotion et des mouvements de piquants, varie avec le degré de dispersion de la mélanine dans la peau. On peut donc reconnaître des phases adaptées à la lumière (de couleur sombre, figure 1) et adaptées à l'obscurité (de couleur claire, figure 3). Les animaux adaptés à l'obscurité sont plus sensibles. Les mélanophores (*m*, figure 13) se trouvent immédiatement à l'extérieur de la couche nerveuse superficielle (*n.l.*), position qui explique comment la dispersion et la concentration du pigment peut sérieusement influer sur l'intensité de la lumière qui pénètre dans la peau. De tels mécanismes de contrôle rappellent ceux que l'on attribue parfois à la mélanine dans les rétines de certains crustacés, insectes ou vertébrés où elle se concentre ou se disperse au cours de ce qu'on appelle les «mouvements photomécaniques».

Quelques oursins, vivant dans des eaux peu profondes, éclairées par le soleil, ne possèdent pas de telles quantités de pigment protecteur. Une espèce *Lytechinus variegatus* (figure 5) est très sensible à la lumière et se couvre de débris (figure 6), réaction provoquée d'habitude par une lumière relativement forte. Ceci suggère que ce comportement est une sorte de compensation à l'absence de pigment protecteur.

En comparant l'organisation générale d'un système dermique photorécepteur comme celui de *Diadema* avec celui d'un œil complexe de vertébré ou d'arthropode il apparaît certaines analogies. Les réponses aux changements d'intensité lumineuse rappellent les réponses de début et de fin d'éclairement dans la décharge optique. Dans les deux cas, le mécanisme photorécepteur primaire est accompagné de pigments accessoires dont la disposition varie de manière à modifier la quantité ou le trajet de la lumière incidente. De plus, la mélanine chez *Diadema* montre un rythme diurne de dispersion et de concentration, comme dans certains yeux. Beaucoup d'yeux complexes comportent des éléments réfléchissants qui ont apparemment le rôle de réfléchir et de diffuser la lumière de faible intensité sur la surface réceptrice; leurs équivalents chez *Diadema* sont les iridophores (*ir.*, figure 15) qui diffusent la lumière sur la surface générale du corps (*s*) et peuvent donc augmenter fortement la capacité de l'oursin à répondre en lumière faible.

Une telle complexité d'organisation est plutôt surprenante et elle est peut-être un reflet de l'importance de la sensibilité dermique à la lumière. Là où les yeux manquent, ou sont insuffisants, ce sens permet à son possesseur, quand une lumière soutenue forme le stimulus, d'atteindre les conditions d'illumination les meilleures pour son mode de vie: en nageant comme les lamproies, en creusant un trou comme le gastrobranche, en rétractant les parties exposées de son corps comme les écrevisses et les homards ou en se couvrant comme *Lytechinus*. Quand ce sont les changements d'intensité qui forment le stimulus, le sens assure la rétraction pour un stimulus nocif d'augmentation de la lumière ou pour une mise à l'ombre qui peut être le signal d'un changement ou d'une présence dangereux dans le voisinage proche. Ce sens est aussi suffisant pour assurer le mouvement vers des objets servant d'abri comme dans les réactions des ambulacres de *Lytechinus* (figure 19) qui prennent des débris pour couvrir l'animal, ou dans les mouvements défensifs des piquants des oursins.

REMERCIEMENTS

Certaines des illustrations ont été reproduites avec l'autorisation des personnalités suivantes, à qui l'auteur adresse ici ses remerciements: Dr. G. Bras, de l'*University College of the West Indies* (figures 1 et 3); Mr. G. Underwood, de l'*University College of the West Indies* (figures 5 et 6); Dr. M. J. Wells, de la *Stazione Zoologica* de Naples (figure 4).

RÉFÉRENCES

[1] NAGEL, W. A. «Der Lichtsinn augenloser Tiere». Fischer, Iéna. 1896.
[2] HECHT, S. *J. gen. Physiol.*, **1**, 545, 1918.
[3] *Idem. Ibid.*, **8**, 291, 1925.
[4] VON UEXKÜLL, J. *Z. Biol.*, **34**, 315, 1897.
[5] MILLOTT, N. *Phil. Trans.*, *B*, **238**, 187, 1954.
[6] WALD, G. *Amer. J. Ophthal.*, **40**, 18, 1955.
[7] GRANIT, R. «Receptors and Sensory Perception». Yale. 1955.
[8] BLUM, H. F. «Photodynamic Action and Diseases Caused by Light». Reinhold Publishing Corporation, New-York. 1941.
[9] DARTNALL, H. J. A. *Brit. med. Bull.*, **9**, 24, 1953.
[10] HARTLINE, H. K., WAGNER, H. G. et MACNICHOL, E. F., Jr. *Cold Spring Harb. Symp. quant. Biol.*, **17**, 125, 1952.

Les anciennes pompes a vide

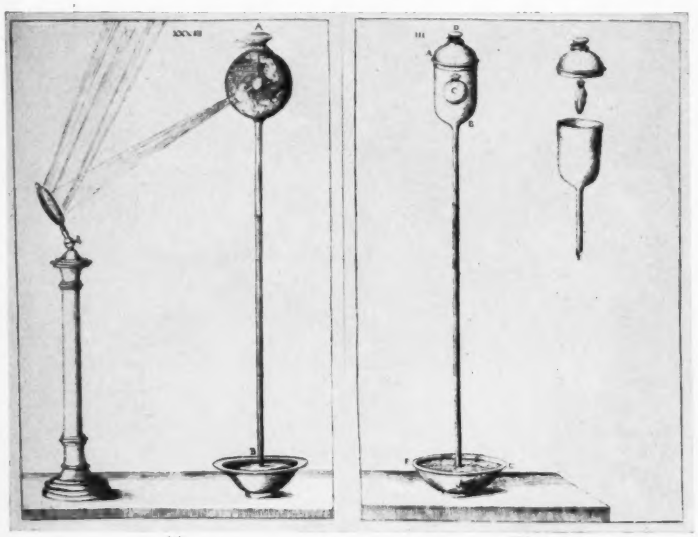
par E. N. DA C. ANDRADE

Il y a actuellement dans la recherche et dans l'industrie un grand nombre de procédés dont une phase indispensable est l'obtention d'un vide élevé. Les accélérateurs de particules, les énormes piles atomiques, les affineries, les fabriques d'ampoules électriques, de lampes radio-électriques, de tubes de télévision et d'autres accessoires semblables, exigent tous, pour la production du vide, des installations compliquées dont la réalisation date de 50 ans à peine et résultent principalement des recherches géniales de Gaede. On trouve ici un bref historique de ce qu'était la pompe à vide avant les récents perfectionnements.

Au début du présent siècle, les méthodes en usage pour la production du vide dataient d'au moins cent ans. L'histoire de la pompe à vide se divise donc naturellement en deux parties: la première ayant trait à la vieille machine pneumatique, ce «joujou» des savants, qui a d'ailleurs permis de grandes découvertes, et l'appareil de l'ingénieur-physicien moderne, instrument indispensable de la révolution atomique.

Le premier à effectuer un vide en connaissance de cause fut Torricelli, un élève de Galilée. Celui-ci avait, dans le premier «Jour» de ses «Dialogues», signalé le fait qu'une pompe ne pouvait faire monter l'eau à une hauteur de plus de 18 coudées (italiennes), ce qui équivalait à 1060 cm environ et dépassait en fait la limite réelle. Il avait aussi démontré la pesanteur de l'air, mais il ne rattachait sans doute pas la pression atmosphérique à la hauteur de l'eau dans le tuyau de la pompe. En 1644, Torricelli, dans une lettre à Michel-Ange Ricci, décrit sa célèbre expérience que nous rappelons ici parce que la même méthode fut utilisée dans une expérience de production de vide effectuée par l'*Accademia del Cimento* et publiée dans ses *Saggi di Naturali Esperienze* en 1667.

On augmenta le volume de l'extrémité supérieure du tube barométrique et on en ferma l'orifice au moyen d'une vessie détachable à volonté. Dans l'espace obtenu on se livra à d'importantes expériences. On y démontra notamment que l'attraction magnétique s'exerce dans le vide avec la même force que dans l'air libre; que lorsqu'on chauffe dans le vide une boule de bitume au moyen de rayons solaires concentrés par un miroir concave, la fumée produite retombe (figure 1(*a*)); qu'une vessie d'agneau dont la plus grande partie de l'air a été chassée et l'ouverture ficelée se gonfle dans le vide (figure 1(*b*)). Cette méthode de faire le vide, que Rumford reprit bien longtemps après, équivaut à l'emploi d'une pompe à mercure à temps unique, et les expériences effectuées préfigurent celles qui furent réalisées environ deux siècles plus tard avec les pompes de Geissler et de Töpler. Les expériences en question sont évidemment postérieures à l'invention de la machine pneumatique par Guericke et aux



(a) (b)

FIGURE 1 – *Expériences effectuées par l'*Accademia del Cimento *au moyen du vide barométrique:* (a) *dans le vide la fumée retombe;* (b) *une vessie d'agneau qui contient un peu d'air se gonfle dans le vide. Dans les deux expériences une vessie recouvre l'orifice supérieur du récipient vidé d'air, mais dans le cas de* (b) *la vessie coiffe un couvercle en verre qui n'est pas mentionné dans le texte.*

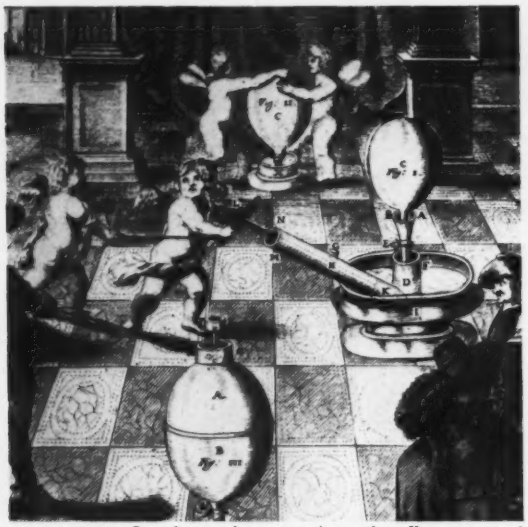


FIGURE 2 – *La plus ancienne représentation d'une pompe à vide, d'après les* Mechanica Hydraulico-Pneumatica *de Schott qui contiennent un exposé des premiers travaux de Guericke.*

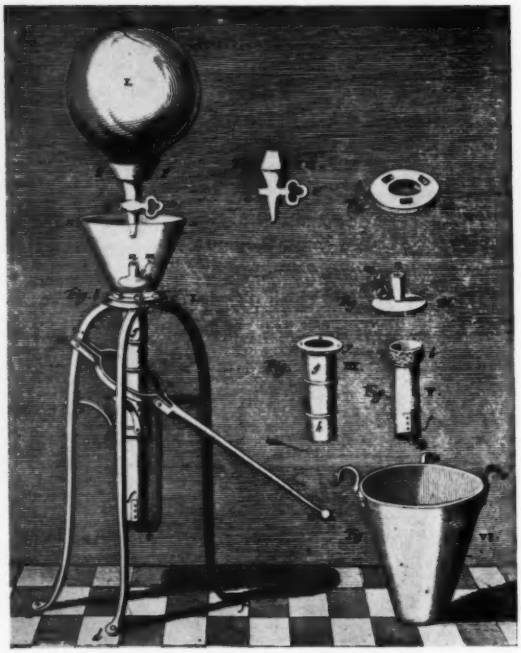


FIGURE 3 – *La pompe de Guericke telle qu'elle est représentée dans le* De vacuo spatio.

premières pompes de Boyle, décrites ci-après, mais cela n'ôte rien à la justesse de ce que disent les *Saggi* à propos des expériences de Boyle, à savoir, que la méthode utilisée par celui-ci ne permet pas d'obtenir un vide aussi parfait qu'avec le mercure.[1]

C'est Guericke, né en novembre 1602, qui le premier construisit une machine pneumatique proprement dite, capable de soutirer progressivement l'air d'un vase clos aussi complètement que le permettaient les infiltrations et la tension de vapeur. On ne sait pas la date exacte de sa première réussite, car ce n'est que bien plus tard, en 1672, qu'il a donné lui-même un compte rendu complet de ses travaux, dans ses *Experimenta Nova* (*ut vocantur*) *Magdeburgica de Vacuo Spatio* (Les nouvelles expériences, dites de Magdebourg, sur le vide). Il y est dit que le livre fut achevé en 1663, mais que la publication en fut retardée pour diverses raisons. Toutefois, bien avant cette date, le jésuite Gaspard Schott, un écrivain scientifique prolifique, parle de la célèbre expérience de Magdebourg et, avec l'autorisation de Guericke, décrit la machine pneumatique dans son livre *Mechanica Hydraulico-Pneumatica* (1657). C'est ce livre, soit dit en passant, qui amena Robert Boyle à s'intéresser à la pompe à air. L'expérience eut lieu en 1654 en présence de l'Empereur et des princes rassemblés à Magdebourg à l'occasion de la Diète de Ratisbonne. Guericke se servit de deux hémisphères en cuivre d'environ 50 cm de diamètre,[2] réunies en une seule sphère par un joint étanche en cuir imbibé de cire et de térébenthine. Quand on eut fait le vide à l'intérieur de la sphère, deux attelages de huit chevaux tirant en sens inverse ne purent séparer les hémisphères, retenues par une force d'environ une tonne et demie. Guericke renouvela l'expérience avec des hémisphères de 70 cm de diamètre.

La figure 2 montre la machine pneumatique que décrit Schott, la première d'ailleurs dont l'image ait été publiée. D'après la description

[1] Voir la traduction anglaise de Richard Waller (1684).

[2] Selon Guericke, le diamètre des hémisphères mesurait $\frac{3}{4}$ d'une aune de Magdebourg, ou plutôt 67 centièmes d'une aune de Magdebourg, car, dit-il, les artisans ne se conformaient pas aux mesures prescrites. J'ai eu quelque difficulté à m'assurer de la longueur de cette aune. Je l'ai enfin trouvée dans l'«Encyclopédie Méthodique», Section Commerce (3, 165, 1784), où elle est donnée comme étant de 295,6 lignes françaises. Le pied français (1,066 pieds anglais) est de 144 lignes. L'aune de Magdebourg mesurait donc 67 cm, de sorte que le diamètre des hémisphères était d'environ 50 cm. Toutes les histoires scientifiques que j'ai consultées donnent cette mesure en aunes de Magdebourg. Etant donné qu'une mesure approximative suffit, tous ces détails pourraient sembler superflus; mais il ne faut pas oublier que la longueur de l'aune, pour s'en tenir seulement aux plus communes, varie de 114 cm pour l'aune anglaise à 56 cm pour celle de Leipzig.

elle est pourvue de deux clapets, l'une au point H, à mi-hauteur du corps de pompe, G étant une ouverture, et l'autre à l'extrémité inférieure I. Il n'y a aucun détail au sujet de ces clapets; il est dit seulement que celui qui se trouve à I s'ouvre intérieurement vers I et se ferme vers D, ce qui veut dire qu'il s'ouvre quand on tire sur le piston et se ferme quand on le repousse. Le clapet à H s'ouvre extérieurement sous une poussée interne et se referme quand celle-ci n'agit plus. Cette disposition des clapets n'est évidemment pas très efficace, et Schott ajoute que le va-et-vient (*agitatio*) du piston doit se poursuivre deux ou trois heures, et même davantage, selon la capacité du ballon C. A l'arrière-plan des chérubins tiennent renversé dans l'eau un ballon vide d'air, et Schott raconte que quand on ouvrait le robinet l'eau s'engouffrait tumultueusement dans le ballon, ce qui donne l'impression qu'il en a été témoin, comme il l'affirme d'ailleurs. Au moyen du robinet E on fermait le ballon après y avoir fait le vide. C'est le genre de pompe qui a dû servir pour l'expérience de Magdebourg.

La figure 3 montre la forme définitive de la pompe de Guericke telle qu'elle paraît dans le *De vacuo spatio* où elle est décrite pour la première fois. Elle se rapproche beaucoup de la pompe de Boyle et il est très probable que Guericke ait vu le livre de celui-ci, dont une édition latine parut en 1661. Toutefois il ne parle nulle part de Boyle. Le cylindre vertical *gh* (*Fig.* III des pièces séparées) repose sur un trépied; une rondelle de plomb en rend la partie supérieure étanche. Le piston (*Fig.* V) est en bois avec garniture en ficelle. Un clapet *z* en cuir, fermé par un ressort (*Fig.* IV), laisse sortir l'air pendant la première phase de l'opération. Mais quand la pression de l'air devient trop faible pour l'ouvrir, on se sert de la cheville *m* comme soupape. Celle-ci ainsi que le robinet *qr* fonctionnent comme dans la pompe de Boyle et seront décrits en conjonction avec elle. Le récipient conique *xx* qui surmonte le cylindre et celui de la *Fig.* VI qui s'accroche de façon à contenir la partie inférieure du cylindre, sont destinés à recevoir l'eau qui assure l'étanchéité des joints. Au col du ballon en verre L est fixé un manchon en cuivre portant le robinet.

Boyle donne dans *New Experiments Physico-Mechanicall touching the Spring of the Air*, publié en 1660, une première description de sa pompe à air: sans l'avoir lu, il a entendu parler du livre où le savant Schott raconte comment Otto de Guericke, bourgmestre de Magdebourg, a récemment fait l'expérience d'une méthode de faire le vide dans

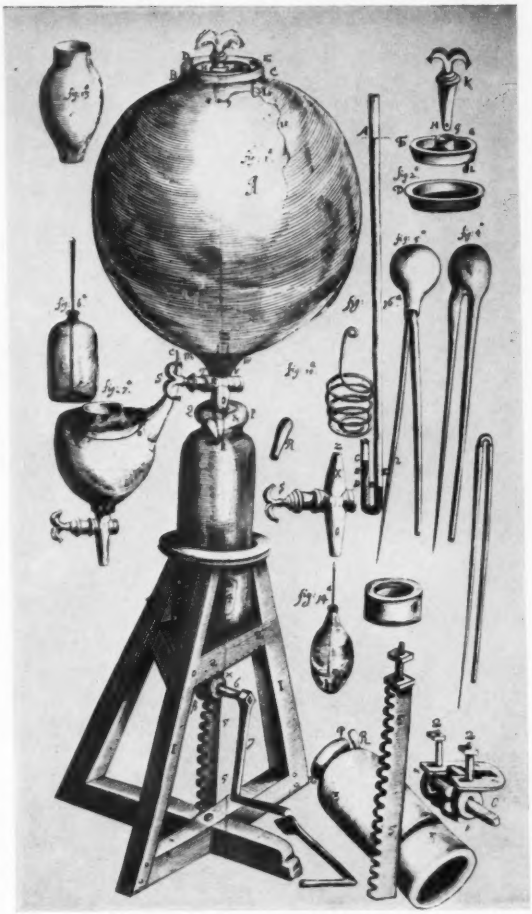


FIGURE 4 – *Première pompe de Boyle, construite par Robert Hooke.*

des récipients en verre en en soutirant l'air par un orifice après les avoir plongés dans l'eau. Boyle indique également, en toute franchise, que c'est Robert Hooke, son assistant à cette époque, qui a construit sa pompe, laquelle porte la marque de l'habileté géniale de Hooke.

La pompe en question (figure 4) se compose d'un corps en cuivre dont le diamètre intérieur est de 7,5 cm et où circule en y adhérant étroitement un piston (4, 4 dans la figure) en bois probablement, car une garniture en cuir y est clouée. Le piston est actionné au moyen d'une crémaillère et on l'imbibait d'huile pour le rendre étanche et en faciliter le mouvement. Toutefois Boyle signale qu'un mélange — nous dirions une émulsion — d'huile et d'eau était souvent plus efficace. Le corps de pompe est maintenu à la verticale dans

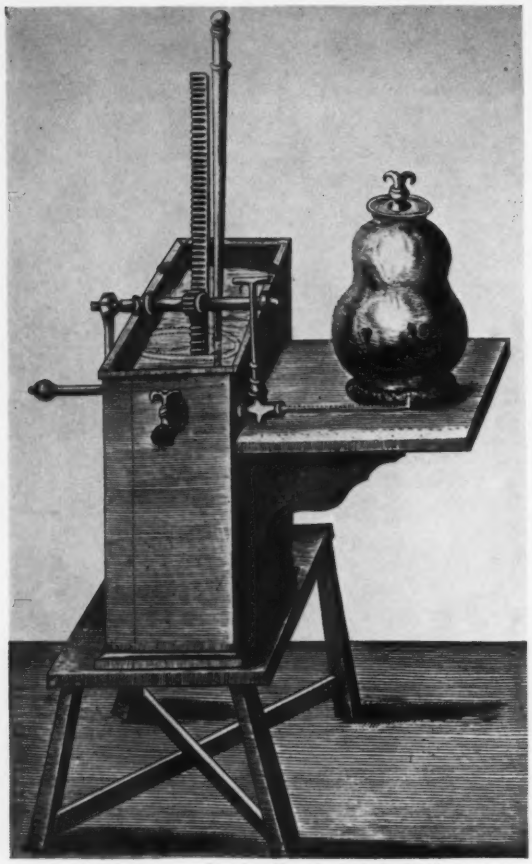


FIGURE 5 – *La deuxième pompe de Boyle.*

un fort cadre en bois. Le ballon en verre, d'une contenance de 25 litres, était, dit-on, le plus grand que les verriers aient pu fabriquer de l'épaisseur requise. A son sommet se trouve une ouverture garnie d'un cercle en cuivre auquel s'adapte hermétiquement le couvercle que l'on voit en haut à droite de la figure. Le petit trou à l'extrémité du bouchon K permet de suspendre des objets dans le ballon, et à la base de celui-ci est fixé un manchon en cuivre pourvu d'un robinet (S).

Au collet du corps de pompe il y a une ouverture où s'adapte hermétiquement le bouchon en cuivre (R). Voici comment fonctionne l'instrument: ayant fermé le robinet et ôté le bouchon du collet, on fait remonter le piston qui chasse l'air par l'ouverture. Puis on remet le bouchon, on ouvre le robinet et on fait descendre le piston. Une partie de l'air contenu dans le ballon est alors aspiré dans le cylindre. Ensuite on referme le robinet, on enlève le bouchon et l'opération recommence. C'est le dispositif que Guericke adopta pour son dernier modèle de pompe, en y ajoutant la soupape actionnée par la pression de l'air au début de l'opération. La crémaillère, l'accès facile à l'intérieur du ballon, et les détails de la construction permettant d'obtenir l'étanchéité sans avoir recours à l'eau, sont autant de points à l'avantage de la pompe de Boyle.

Celui-ci décrit en 1669 sa deuxième pompe (figure 5). Le ballon est remplacé par une cloche fixée à une platine au moyen d'un mélange de cire et de térébenthine, qui rend facile l'enlèvement et le remplacement de la cloche. Jusqu'à tout récemment on a fait usage de ce mélange dans la technique du vide. La pompe se compose d'un seul corps plongé dans un bac rempli d'eau; un trou dans le piston lui-même peut être fermé ou ouvert au moyen d'un bouchon placé au bout du long tube que l'on voit sortir de l'eau. Le robinet est fixé au tuyau qui mène à la cloche. Boyle admet que le dispositif n'est pas très pratique, bien que du fait de l'immersion de la pompe le piston gonflé et gras reste étanche.

Il ne faut pas oublier que Hooke n'étant plus au service de Boyle depuis 1662 n'a probablement pas pris part à la construction de la deuxième pompe. C'est sans doute à l'absence des lumières

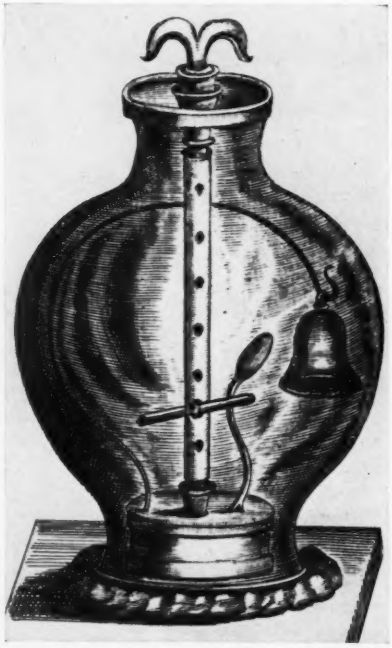


FIGURE 6 – *L'appareil imaginé par Boyle pour démontrer que le son ne se propage pas dans le vide.*

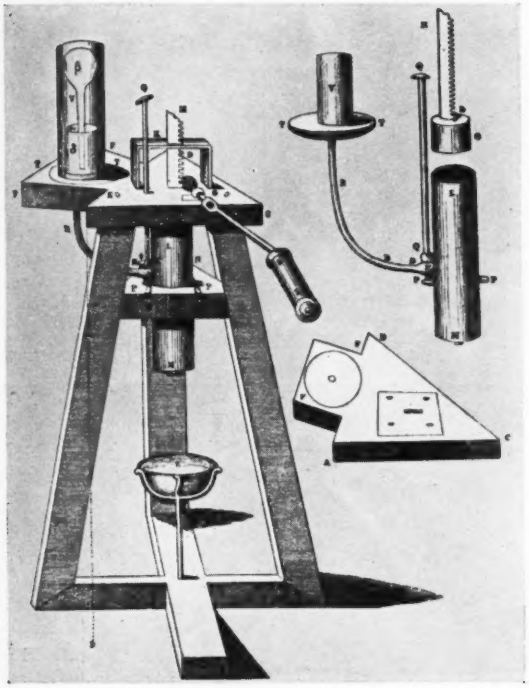


FIGURE 7 – *Pompe exécutée par Papin d'après les indications de Huygens.*

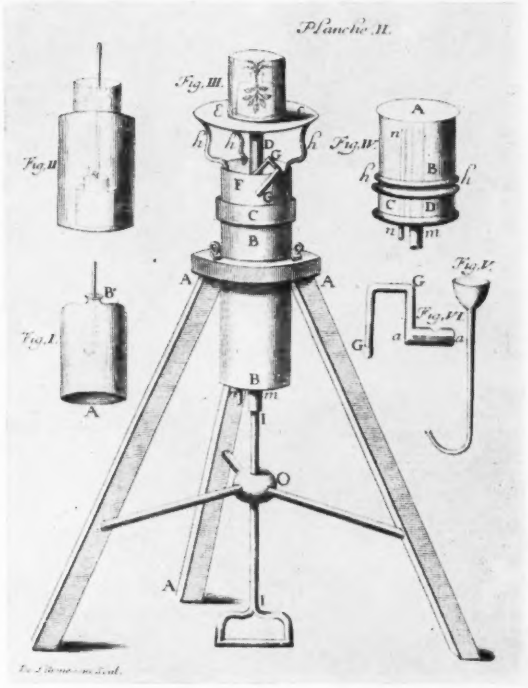


FIGURE 8 – *Pompe de Papin pourvue d'un robinet à deux voies.*

de Hooke qu'il faut attribuer la décision rétrograde d'immerger la pompe dans l'eau pour la rendre étanche. Ce recours à l'eau est d'autant plus surprenant que Boyle lui-même indique dans sa description de la première pompe qu'il veut d'une pompe qu'il ne faille pas, comme celle de Guericke, maintenir immergée, ce qui est souvent incommode, et qui soit d'un maniement plus facile. Ceci démontre l'influence de l'habileté technique sur le modèle de construction. Comme exemple typique de dispositif de manipulation sous vide, citons celui de la figure 6 qui permet de frapper sur une sonnette à l'intérieur d'une cloche en verre.

Le génial Denis Papin qui, comme Hooke à ses débuts, devait souvent pour subsister aider les savants plus riches que lui, était en 1674 au service de Huygens. Celui-ci — ses lettres nous le disent — avait vu la pompe de Boyle lors de son séjour en Angleterre en 1661, et, de retour en Hollande, avait construit une pompe semblable, mais comportant une platine sur laquelle était fixée une cloche où se faisait le vide expérimental. En cela, il devançait Boyle, bien qu'il n'ait publié aucune description de son appareil. Quand il se rendit à Paris il chargea Papin de construire une pompe à air (figure 7) du même modèle; elle est décrite dans la première publication de Papin, «Nouvelles Expériences du Vuide», 1674. Le piston est actionné par un engrenage à crémaillère, comme dans la pompe de Boyle. Le petit trou M sert de soupape: laissé ouvert quand le piston descend en chassant l'air, on l'obture avec le doigt quand le piston remonte. Le robinet F commandé par la manette Q règle la communication entre le corps de pompe et la cloche. On versait de l'huile sur le haut du piston dont l'étanchéité était assurée par de l'étoupe imbibée d'eau. Le tout est monté très solidement.

Dans la même publication Papin décrit un modèle perfectionné de pompe (figure 8) qui est de sa propre invention. Ici l'ouverture est commandée per un robinet (*Fig.* VI) à deux voies: l'une donnant accès à la cloche et l'autre étant une rainure (*aa*) communiquant avec l'air libre. C'est donc Papin qui a inventé le robinet à deux voies que l'on attribue communément à Wolferd Senguerd. Celui-ci en a fait usage dans la pompe décrite ci-dessous. Le robinet de la pompe de Papin devait être d'une facture parfaite, car il ne crut pas nécessaire de l'immerger. Une autre caractéristique de cette pompe est l'étrier qui aide

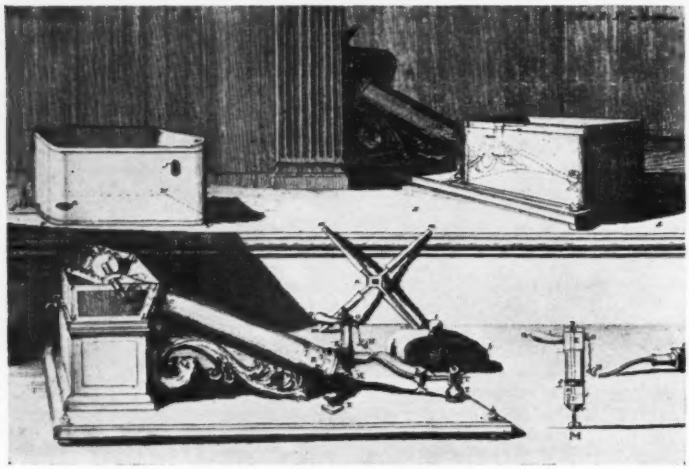


FIGURE 9 – *Pompe de Sengwerd.*

à faire descendre le piston contre la pression atmosphérique.

La pompe de Wolferd Sengwerd, très en faveur sur le Continent, a été représentée d'abord dans sa *Philosophia Naturalis* (1681), puis, plus en détail, dans la 2e édition de ce livre (1685). Il est à signaler que c'est la préface du livre qui contient une description très complète de la pompe, tandis que dans le corps même de l'ouvrage elle n'est qu'esquissée. La figure 9 reproduit la planche de la préface en question. Presque tous les ouvrages allemands sur l'histoire de la science s'accordent à dire que la pompe décrite par Sengwerd en 1685 ne fut construite qu'en 1697, se fondant sur le *Rationis atque Experimentiae Connubium* du même Sengwerd (1715).[1] Et pourtant l'auteur dit ici: *atque ut mihi construeretur, Anno* 1679 *cum Artifice conveni.* La seule conclusion possible est que le premier historien a pris 1679 pour 1697 et que les autres ont copié son erreur. Celle-ci est d'autant plus étrange que la gravure a été manifestement faite d'après nature.

Le corps de la pompe de Sengwerd est fixé en position oblique, et un robinet à deux voies (représenté séparément à droite de la figure 9) le relie alternativement avec la cloche et avec l'air libre. Il est dit dans la description détaillée que pour éviter les rentrées d'air on peut immerger le robinet et la partie inférieure de la pompe (voir le haut de la figure 9): nouvelle preuve de la difficulté à obtenir des joints étanches.

Un célèbre fabricant d'instruments, le Hollandais Jan van Musschenbroek de Leyde, a produit un grand nombre de pompes du modèle Sengwerd. C'est ainsi que la plupart des collections d'appareils historiques en possèdent des exemplaires. Leutpold également s'est intéressé à ce modèle.

En 1675 Papin passe en Angleterre et se met au service de Boyle. Celui-ci décrit en 1682, en mettant dans sa préface les choses bien au point, la pompe (figure 10) que Papin a apportée de France. L'amélioration fondamentale ici c'est qu'il y a deux corps, que les pistons sont couplés au moyen d'une corde passant sur une roue, de sorte que la

[1] Celle-ci est, au dire des experts allemands, la 3e édition de ce livre; mais c'est en réalité la première et unique édition. Sur la page du titre, après les mots *Rationis atque Experimentiae Connubium*, quelques détails sur le contenu du livre, et les noms et titres de l'auteur, il y a *Accedit ejusdem, Disquisitio de Tarantula, Tertio Edita.* Les mots *Tertio Edita* se rapportent seulement à la dissertation sur la tarentule et non à l'ouvrage principal dont il est question ici.

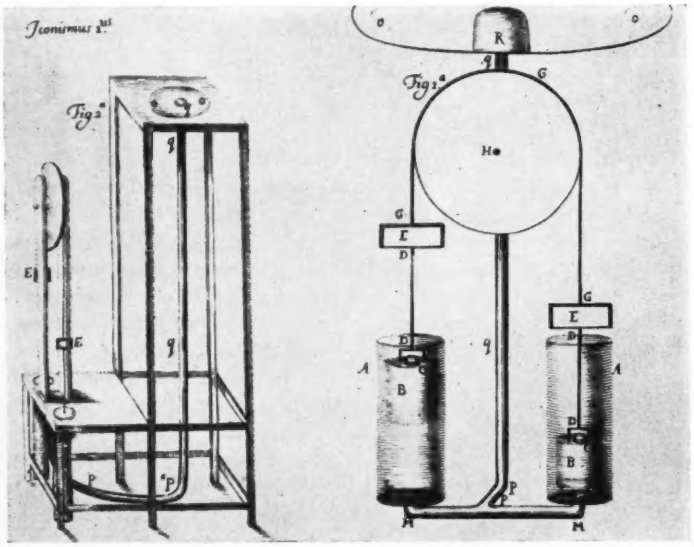


FIGURE 10 – *Pompe à deux corps, décrite par Boyle dans* A Continuation of New Experiments Physico-Mechanical, 1682.

pression atmosphérique sur l'un d'eux contribuait dans une large mesure à soulever l'autre; de là économie appréciable d'effort. Les étriers facilitent également le maniement de la pompe.

Francis Hauksbee décrit en 1709 dans ses *Physico-Mechanical Experiments* une pompe de sa fabrication (figure 11) qui est la forme ultime du modèle dont il vient d'être question. Un bel exemplaire de cette pompe, exactement semblable à celui qui est reproduit ici, est conservé parmi les trésors de la *Royal Society*. De même que la dernière pompe de Papin, elle a deux corps, mais ses pistons sont actionnés par des crémaillères. Il y a aussi des clapets automatiques en «vessie souple». La disposition du manomètre à colonne de mercure que l'on voit au-dessous du milieu de la platine de la cloche, de même que celle de la cloche elle-même est très commode, et le tout est d'une facture excellente. Le fond des corps de pompe est vissé sur une base métallique, l'étanchéité des joints étant assurée par des garnitures de cuir qui baignent dans une cuvette (*dd*) remplie d'eau. Le joint entre la cloche et sa platine est aussi rendu étanche au moyen de cuir humide. La tension ne pouvait tomber au-dessous de celle de la vapeur d'eau saturée à température ambiante: à 15° elle est d'environ 1,25 cm de mercure et à 26° de 2,5 cm. Hauksbee a relevé une fois 73,75 cm de mercure, ce qui approcherait de 1,5 cm du vide parfait dans des conditions normales d'altitude barométrique. Une autre fois il a obtenu, dit-il, un vide approchant de 3,75 cm et pas davantage du vide parfait, comme s'il aurait pu aller plus loin. En 1926 l'auteur de ces lignes fit, dans le rôle de Francis Hauksbee, une conférence-démonstration à la *Royal Society* avec la pompe de la Société remise en état d'après les indications données dans le livre de Hauksbee; on évita même d'utiliser des huiles modernes. La différence entre le vide obtenu et le vide parfait fut d'environ 2,5 cm de mercure, ce qui correspondait à peu près à la tension de vapeur d'eau.

C'est avec une pompe de ce genre que Hauksbee effectua les premières expériences de décharges électriques dans le vide, décrites dans les *Physico-Mechanical Experiments*. Ce dernier ouvrage contenait, comme l'indique la page du titre une description de quelques phénomènes surprenants concernant l'électricité et la lumière. Il est inutile de rappeler l'immense retentissement qu'eurent par la suite des expériences semblables.

Le modèle de pompe réalisé par Hauksbee reste presque inchangé jusqu'à ce que Fleuss, à la fin du XIXe siècle, invente la pompe cylindrique à huile. Dans celle-ci tout l'air de l'espace nuisible est remplacé par de l'huile, mais en fait le progrès réel consiste à utiliser de l'huile à faible tension de vapeur. La plus ancienne des pompes à main où le récipient à vider communique périodiquement avec une chambre où un vide barométrique vient d'être effectué date seulement de 1862, et la première pompe rotative à mercure — que la pompe de Gaede devait bientôt supplanter — fut inventée par Kaufmann en 1905. Nous sommes donc arrivés, avec les géniales expériences de Hauksbee, au terme de notre aperçu.

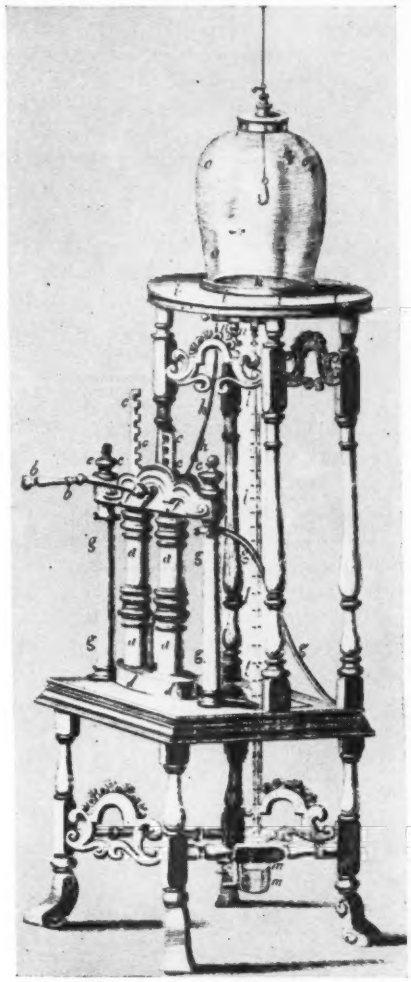


FIGURE 11 – *Pompe de Francis Hauksbee.*

Développements récents des calculateurs électroniques

par J. M. M. PINKERTON

On utilise de plus en plus les calculateurs électroniques, non seulement dans la recherche scientifique, mais dans l'industrie et le commerce, et on a considérablement perfectionné leur construction et leur fonctionnement depuis la revue publiée il y a huit ans dans ENDEAVOUR. Un obstacle important à un développement encore plus grand de ces calculateurs est le manque de personnel capable de les faire fonctionner.

Il n'y a pas de différence essentielle entre les calculateurs mécaniques et électroniques dans la méthode de représentation physique de conceptions abstraites comme les nombres et dans les codes d'instructions. Mais les circuits électroniques vont bien plus vite, se connectent et se séparent bien plus facilement, on a donc déjà réalisé pratiquement des calculateurs dont l'élaboration est d'un tout autre ordre que ce que l'on peut obtenir avec des calculateurs mécaniques.

Dans les calculateurs électroniques, on utilise soit le système à base 10 soit le système à base 2; avec ce dernier un nombre est représenté par une série de 0 et de 1, qui indiquent la présence ou l'absence des puissances de 2 consécutives. La popularité de ce système vient de la facilité avec laquelle on peut le représenter physiquement, par exemple par les deux directions opposées d'aimantation dans un anneau d'oxyde magnétique [1]. Certains calculateurs destinés à la comptabilité commerciale utilisent le système décimal, mais souvent combiné à une représentation binaire pour chaque décimale individuelle [2].

Un calculateur très rapide doit pouvoir garder en réserve, dans sa «mémoire» non seulement les nombres intervenant dans les calculs, mais encore toutes les instructions relatives aux opérations à effectuer. Sinon, on ne pourrait utiliser au mieux son extrême rapidité de fonctionnement, puisqu'aucun opérateur humain ne peut donner, par seconde, mille instructions ou plus. Aussi, dans toutes les machines modernes, les instructions (correspondant à un code numérique convenable) sont-elles emmagasinées dans les mêmes registres que les nombres. Ceci donne plus de souplesse au fonctionnement de la machine, car selon les circonstances, on peut faire varier les portions des registres attribuées respectivement aux nombres et aux instructions. Les instructions étant numériques, on peut les modifier à l'intérieur de la machine par de simples opérations arithmétiques. On peut arranger un groupe d'instructions pour modifier selon les circonstances une instruction particulière qui se répète souvent. De cette façon, une douzaine d'instructions peut en remplacer cent ou plus.

Un calculateur de bureau fonctionnant à la main n'a en général pas de réserve séparée. Les mêmes registres, peu nombreux d'ailleurs, emmagasinent les nombres et servent aux opérations arithmétiques. Dans les calculateurs électroniques, il serait impraticable de faire des calculs sur tous les registres de la réserve — il y en a de 500 à 2000 — aussi y a-t-il un dispositif spécial appelé l'«unité arithmétique». Les nombres sont extraits de la réserve, additionnés, soustraits, multipliés ou divisés, puis renvoyés à la réserve, tout cela conformément aux instructions du programme. Des circuits de contrôle centraux garantissent que les instructions s'exécutent bien selon l'ordre voulu. Ils sont très variables, mais il y a toujours un registre d'ordre, un registre d'instructions, un registre de décodification pour reconnaître la nature de l'instruction en cours d'exécution, et des circuits de signalement pour coordonner l'activité de toutes les autres parties de la machine. La plupart des machines ne font qu'une opération à la fois, et de 100 à 10 000 opérations par seconde [3].

Pour donner à la machine de nouvelles données, ou instructions, il faut d'abord les enregistrer à la main sur un ruban imprimé ou des fiches, ou un ruban magnétique, pour qu'elle puisse les «lire» automatiquement. La lecture a lieu en réponse aux instructions, comme l'impression ou la perforation des résultats. Qu'il s'agisse de lire ceux-ci ou de les emmagasiner pour l'avenir, le calculateur doit pouvoir en commander l'enregistrement

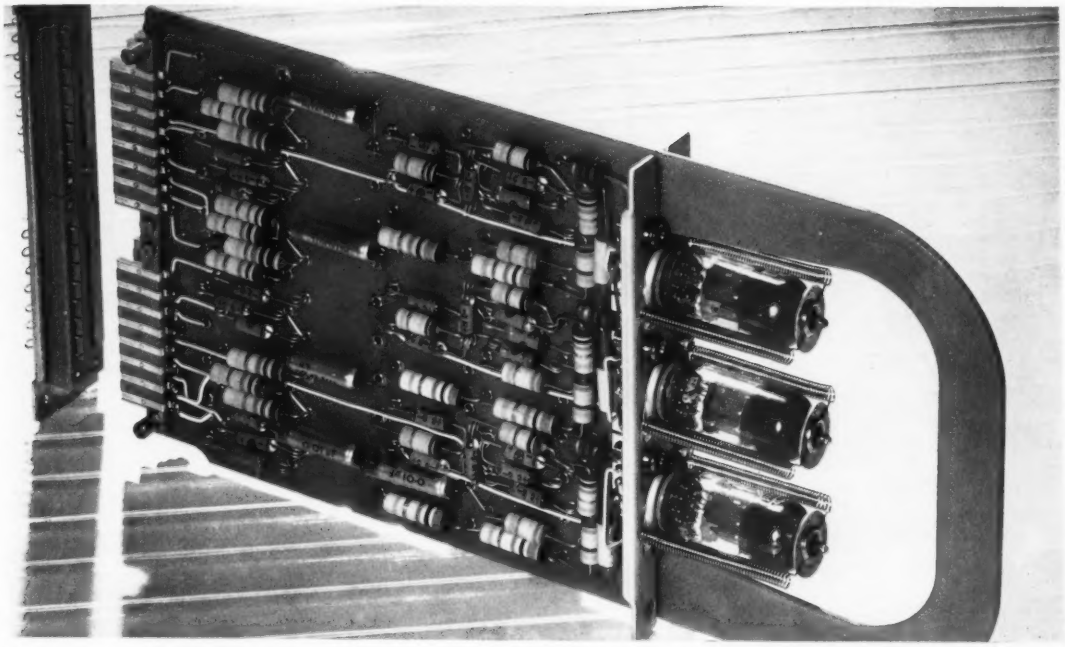
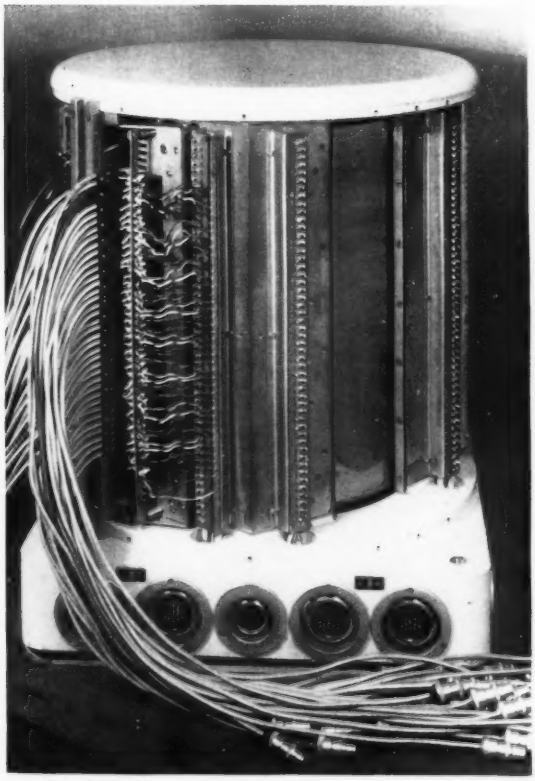


FIGURE 1 – *Circuit unité, avec trois lampes, et de nombreuses autres pièces, en particulier de nombreuses diodes à cristal de germanium. L'unité s'encastre dans la douille représentée à droite (reproduit grâce à l'amabilité de Ferranti Limited).*



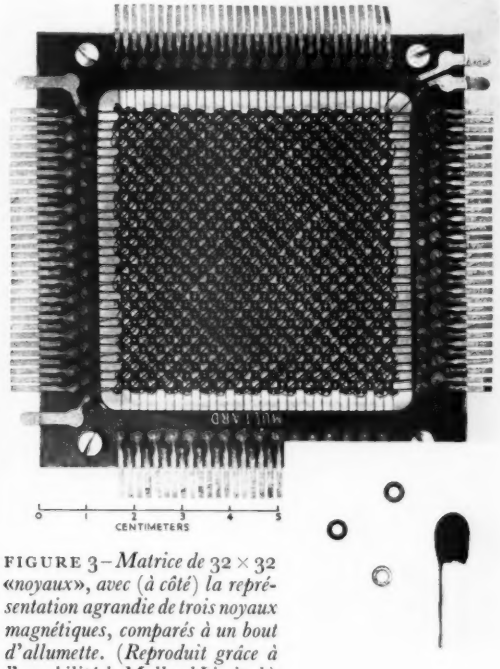


FIGURE 3 – *Matrice de 32 × 32 «noyaux», avec (à côté) la représentation agrandie de trois noyaux magnétiques, comparés à un bout d'allumette. (Reproduit grâce à l'amabilité de Mullard Limited.)*

FIGURE 2 – *Tambour magnétique. On voit à droite une portion de la surface magnétique du tambour, et certaines des «têtes» de lecture et d'écriture, avec les fils de connection, à gauche. (Reproduit grâce à l'amabilité de Ferranti Limited.)*

mécanique. On emploie communément des téléimprimeurs, des machines à écrire automatiques, des fiches perforées et des tabulateurs, et des rubans de papier spéciaux perforés à grande vitesse. On utilise aussi des enregistreurs à ruban magnétique [15]; dans ce cas les nombres enregistrés peuvent être renvoyés au calculateur, ou imprimés par un système automatique séparé du calculateur.

La lecture comme l'écriture des instructions font intervenir des opérations mécaniques, et elles tendent à durer beaucoup plus que les instructions de calcul. Dans les machines mathématiques cela n'est pas un inconvénient, mais dans les machines commerciales il y a bien plus de données et de résultats, et il faut prendre des dispositions particulières pour éviter toute perte de temps [7].

HISTORIQUE

Il y a environ huit ans, D. R. Hartree [8] a donné dans ENDEAVOUR un aperçu des développements contemporains, où il a pu mentionner la plupart des projets impor.ants de cette période. Depuis, les progrès ont été si rapides qu'il n'est plus possible d'en faire si brièvement le tour. C'est surtout la technique de réalisation qui a avancé; on sait mieux utiliser les machines à la résolution de problèmes mathématiques, et on les a appliquées commercialement à des besognes non-mathématiques en comptabilité et contrôle industriel [31].

Au Royaume-Uni c'est aux Universités de Manchester [4] et de Cambridge [5, 31] ainsi qu'au *National Physical Laboratory* de Teddington [6] qu'on a réalisé les développements scientifiques les plus importants. A Manchester, F. C. Williams et ses collaborateurs à l'Université ont construit plusieurs machines à calculer qui ont suscité toute une série de modèles commerciaux. A Cambridge, on s'est surtout occupé de l'utilisation des machines; EDSAC I est en service depuis 1949 et on est près d'achever une deuxième machine, EDSAC II.

Aux Etats-Unis, le développement, tant scientifique que commercial, a été prodigieux. On a réalisé intégralement des projets importants au *Bureau of Standards* tant à Washington qu'à Los Angeles [15], au *Massachusetts Institute of Technology* [18] et dans bien d'autres centres. Les grands fabricants de machines comptables, [2, 17] ont été particulièrement remarquables dans la production de calculateurs pour la vente ou la location. En Europe, les développements principaux, en dehors de l'Angleterre, ont eu lieu en Suède et en France.

PROGRÈS DANS LA CONSTRUCTION

Celle-ci a fait l'objet d'efforts considérables depuis 8 ans. On a cherché à accroître la vitesse et la sûreté du fonctionnement, à faciliter l'entretien et à rendre la production plus simple et moins coûteuse. Cependant la machine reste essentiellement conforme à la description de Hartree [8].

La vitesse globale de fonctionnement dépend principalement du temps nécessaire à l'extraction d'une information de la réserve. Plus ce temps est court, plus la réserve revient cher; aussi, pour arriver au maximum d'efficacité, faut-il adjoindre aux réserves «rapides» des unités arithmétiques rapides et, dans les applications commerciales, des organes d'entrée et de sortie également rapides.

Les machines les plus rapides font 10 000 opérations par seconde, ou plus, et utilisent maintenant, en général, un principe d'emmagasinage fondé sur le noyau magnétique [1] illustré par la figure 3. A chaque signal binaire mis en réserve correspond un noyau, qui représente la valeur 0 ou 1. Les noyaux sont disposés en matrice, et reliés par des fils dans les directions x et y, les circuits coupeurs sont réalisés de telle façon que ce n'est que lorsqu'un courant passe simultanément dans les fils X et Y que le sens d'aimantation est renversé, et qu'il y a un signal provoqué dans le fil correspondant à la lecture extérieure (figure 4). La lecture change le sens de l'aimantation des noyaux indiquant 1, mais ceux indiquant 0 ne sont pas touchés, si bien que la lecture efface l'information et qu'il faut prévoir un système pour la régénérer.

Les machines à vitesse moyenne — de 700 à

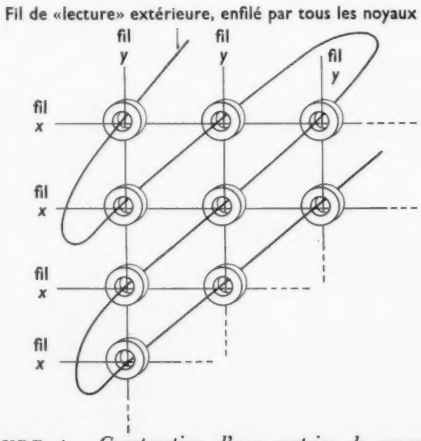


FIGURE 4 – *Construction d'une matrice de noyaux magnétiques.*

2000 opérations par seconde — ont utilisé la «ligne de retard» ultrasonique au mercure comme par exemple EDSAC 1, ou le tube réserve Williams, de la machine de l'Université de Manchester. Il y a un autre modèle de ligne de retard, fondé sur la magnétostriction [9], qui prend faveur, et une machine, NICHOLAS, l'utilise comme réserve principale [10]. Une pulsation acoustique, de deux à trois microsecondes, se transmet le long d'un fil ou d'un ruban de nickel, en faisant passer un courant dans une petite bobine proche d'une extrémité. A l'autre extrémité, l'effet de magnétostriction opposé induit une petite force électromotrice dans une bobine analogue.

Dans les machines plus lentes, par exemple à usage commercial, on utilise maintenant généralement un tambour magnétique [19] comme réserve principale (figure 2). Dans les modèles les plus récents, on l'utilise comme réserve de «soutien», en liaison avec une petite réserve rapide à noyaux magnétiques ou lignes de retard. Toute une série d'instructions est transférée du tambour à la réserve rapide, et remplacée par une autre lorsque tous les ordres de la série ont été exécutés. On combine ainsi une économie en équipement d'emmagasinage avec une vitesse d'opération moyenne.

On a étendu les possibilités arithmétiques, non pas tellement en rendant la machine capable de faire autre chose que des additions, soustractions, multiplications, divisions et déplacements qu'en augmentant la souplesse et la commodité de ces opérations. De nombreuses machines utilisent une arithmétique dite «à virgule flottante» Un nombre n est représenté par deux nombres a et b, avec $n = a \times 10^b$ (ou $n = a \times 2^b$ dans le système binaire, le plus fréquemment utilisé). Après chaque opération, les circuits de déplacement ajustent a automatiquement de façon qu'il soit compris entre -1 et $+1$; b est calculé en conséquence, et peut varier, peut-être, de -99 à $+99$; la machine peut alors opérer sur des nombres compris entre 10^{-99} et 10^{99}. Ainsi la vitesse de la lumière (299 793 km/sec) serait automatiquement transformée en $0{,}299\,793 \times 10^6$, c'est-à-dire $a = 0{,}299\,793$ et $b = +6$. Ce système permet des calculs étendus avec toute la précision possible, même lorsqu'on ne peut savoir à l'avance où se placera la virgule décimale.

Les organes d'entrée et de sortie qui permettent, pour ainsi dire, la communication de la machine avec le monde extérieur se sont améliorés considérablement. Non seulement on a mis au point des lecteurs et des imprimeurs particulièrement rapides [20], mais on a perfectionné les circuits qui les relient au calculateur. On utilise des voies différentes pour les données et les résultats, surtout dans les machines commerciales [7]. Les rubans perforés, les rubans magnétiques et les fiches perforées sont les moyens les plus populaires pour la transmission des données et des résultats; en plus, bien des calculateurs sont directement reliés à des machines à imprimer.

On a étudié de près la construction mécanique des machines à calculer, et la tendance actuelle est de réaliser les circuits électroniques en unités connectées à l'ensemble par une douille [16]. C'était destiné primitivement surtout à faciliter l'entretien, mais on voit maintenant que cela simplifie l'élaboration et facilite la production (figure 1).

TECHNIQUE D'UTILISATION

On s'accorde maintenant à dire que la question la plus importante, comme la plus difficile, est de savoir si un calcul donné est ou non réalisable avec la machine, et dans l'affirmative comment l'organiser. Une fois la décision prise dans tous ses détails, on représente en général les étapes sur un diagramme et on commence la codification. Pour la première partie du travail [13] il faut connaître à fond le problème du point de vue mathématique; la seconde exige beaucoup de travail, mais peut être confiée à des aides entraînés, sans connaissances mathématiques poussées. Tels qu'ils sont écrits, les programmes sont rarement sans défauts, et une partie du temps passe à essayer les programmes sur la machine [21]. Il est manifeste que le rapport durée de la préparation/durée du calcul peut être parfois très grand, souvent dépassant 100 : 1. Il peut donc n'être pas économique d'utiliser la machine à un type de problème qui ne se rencontrera qu'une seule fois.

En science comme en comptabilité, il est vital de déceler les erreurs, et cela est moins difficile qu'il ne paraît. L'expérience montre que souvent — mais pas toujours — une machine qui fonctionne mal dit des absurdités ou s'arrête. Les vérifications mathématiques font en général partie du programme, si bien que les erreurs de calcul peuvent difficilement passer inaperçues si l'on a enregistré et fourni correctement les données à la machine. En comptabilité, on peut utiliser les méthodes traditionnelles pour vérifier de façon absolue l'exactitude du fonctionnement [11].

Les chiffres publiés montrent qu'avec la plupart des machines la précision est de l'ordre de 90–95%. Néanmoins, la productivité peut être sensiblement moindre, car les erreurs de données et d'utilisation, ainsi que la répétition des calculs

après les accidents, font perdre du temps.

Les méthodes d'entretien s'améliorent sans cesse; les méthodes préventives de contrôle marginal, qui décèlent l'usure progressive des lampes ou d'autres pièces avant qu'elle ne cause des erreurs de calcul, sont très efficaces, et d'un emploi maintenant très général [14]. Pour trouver les fautes dues au non-fonctionnement soudain ou intermittent d'une pièce, en général d'une lampe, il faut un cerveau analytique, associé à une connaissance détaillée du fonctionnement du calculateur. C'est sans doute le manque d'ingénieurs qualifiés qui limitera le plus dans les années qui viennent le nombre de machines mises en service.

PRÉPARATION DU «PROGRAMME»

C'est l'art de mettre un problème sous une forme accessible au calcul automatique, puis d'en établir la codification en une succession d'opérations arithmétiques simples. C'est la première partie de ce travail qui demande le plus d'intelligence. Il faut diviser le travail en étapes distinctes, dont chacune correspond à une section séparée du programme d'instructions, par exemple, le calcul de sin x ou e^x, pour une valeur donnée de x. On utilise souvent à ce stade des séries d'instructions standard, appelées «sub-routines», reliées entre elles selon un ordre de succession écrit spécialement. On a élaboré des techniques de simplification de l'écriture des programmes; pour EDSAC par exemple [22]: les étapes sont codifiées indépendamment, c'est-à-dire en unités qui ne sont cohérentes qu'avec elles-mêmes. Une unité «sub-routine» capable d'interprétation oblige le calculateur, lorsqu'il aborde les étapes séparées, à les modifier à volonté en un ensemble coordonné. On peut, en fait, aller très loin dans cette voie, et douer la machine d'une nouvelle collection de capacités arithmétiques, chacune construite naturellement à partir d'une série d'étapes plus simples, mais mise en service par une seule «instruction», qui une fois «interprétée» entraîne le développement complet de l'unité «sub-routine» désirée. Il semble qu'on ne soit limité dans cette voie que par l'habileté de celui qui élabore le programme.

Il serait impossible de préparer des calculs si la machine n'était pas douée d'une certaine capacité de discrimination entre deux directions d'un programme. Aussi tous les calculateurs possèdent-ils certaines instructions conditionnelles, qui ne permettent de sauter une étape dans la succession ordonnée que si une certaine condition arithmétique est réalisée. Ceci peut être le signe d'un nombre dans le registre de réserve. Ainsi on peut demander à la machine de répéter une succession d'instructions évaluant les termes successifs d'une série, jusqu'à ce qu'ils deviennent négligeables. A ce moment-là, la machine arrête les évaluations, fait la somme des termes significatifs, et passe à l'opération suivante.

La plupart des machines ont maintenant des registres spéciaux qui permettent de modifier automatiquement les instructions et de compter plus facilement combien de fois elles effectuent une «sub-routine». Ceci permet, par exemple de faire la somme de n nombres, sans qu'il soit nécessaire de faire appel à un espace de réserve utile par ailleurs pour conserver n instructions «additionnez». On l'a utilisé pour la première fois sur la machine de l'Université de Manchester [4]. En plus des opérations routinières de pur calcul d'un programme, il y a d'autres opérations courantes comme l'entrée du programme et des chiffres et la sortie des calculs. Cette dernière en particulier est souvent très complexe. La machine à imprimer doit mettre les résultats sur le papier. C'est ainsi qu'on a mis au point un système de sortie qui donne directement une projection de Patterson en cristallographie aux rayons X [23].

APPLICATION DES MACHINES À CALCULER

Elles ont servi à la résolution d'un grand nombre de problèmes scientifiques et techniques [24], [25], à un degré moindre à vérifier certains théorèmes mathématiques dans la théorie des nombres [12], et aux opérations de comptabilité courantes du commerce. La liste des applications est si longue que nous ne pouvons en mentionner ici que quelques-unes.

J. C. Kendrew et J. M. Bennett [23] ont utilisé avec succès EDSAC aux calculs des séries de Fourier qui interviennent dans les analyses de structure cristallographique aux rayons X, à deux et trois dimensions, et J. W. Cochran et A. S. Douglas [26] à la détermination du signe des coefficients de Fourier. On a trouvé les solutions numériques d'équations aux dérivées partielles [25] et calculé des tables de fonctions mathématiques [13]. On a déterminé le chemin des rayons lumineux à travers des lentilles composées [27]. On a essayé de calculer des cartes de prévision du temps, déduites du modèle atmosphérique Sawyer-Bushby. On a eu des résultats encourageants pour des périodes de 12 et 24 heures, malgré les difficultés suscitées par les conditions qui régnaient aux limites du domaine exploré, lequel recouvrait la Grande-Bretagne et

l'Atlantique Nord jusqu'à la côte des Etats-Unis [28].

On a pu résoudre correctement bien des problèmes inabordables au calcul manuel à cause, non seulement du travail nécessaire, mais encore des conséquences fatales d'une seule erreur. Citons par exemple le calcul des coordonnées des cinq planètes extérieures à des intervalles de 40 jours, de 1653 à 2060. Ce fut l'œuvre collective de l'Observatoire de la Marine à Washington, de l'Observatoire de l'Université de Yale et de la Compagnie I.B.M, utilisant le calculateur à succession sélective [29]. Il a fallu un système d'équations différentielles non-linéaires simultanées du 30e ordre, pour exprimer les attractions mutuelles des cinq planètes et du Soleil, et ces équations ont été résolues avec une précision de 14 décimales. Les coordonnées résultantes représentent correctement les observations de plus de 150 années, avec une erreur inférieure à l'erreur probable, et sont plus précises que celles que donnent les tables de Hill.

On a utilisé récemment une machine à calculer pour la commande d'une machine à fraiser; elle utilise les données d'un dessin technique et perfore des instructions sur un ruban de papier. Ce ruban est «lu» et commande le mouvement de la pièce dans trois dimensions au moyen de servo-mécanismes très précis. On peut réutiliser très souvent le même ruban, et un seul calculateur peut facilement fournir des rubans de commande pour un grand nombre de machines-outils [30].

On peut confier à une machine à calculer la comptabilité commerciale, pourvu que celle-ci soit uniforme et qu'on puisse en spécifier toutes les étapes à l'avance. Cependant il n'est pas nécessaire que chaque opération se fasse exactement de la même façon chaque fois que la succession habituelle se répète. Pour calculer la paie, par exemple, des sections adéquates du programme permettent de traiter les divers cas: travail normal, maladie, vacances, etc. Les instructions non-applicables sont court-circuitées. C'est cette capacité d'adaptation aux circonstances très diverses du travail quotidien qui rend la machine à calculer si utile dans un bureau. L'utilisation économique du calculateur dans un bureau dépend du volume des opérations régulières qui puisse justifier l'achat coûteux de l'appareil, et les difficultés et le prix de la remise en train. Un grand calculateur, LEO, développement de l'EDSAC de Cambridge, avec entrées et sorties à voies multiples, sert quotidiennement depuis plus de deux ans en Angleterre dans les bureaux d'une grosse Société d'alimentation [7, 11].

BIBLIOGRAPHIE

[1] RAJCHMAN, J. A. *RCA Review*, **13**, 183, 1952.

[2] WEINER, J. R. *Trans. I.R.E. Prof. Group on Electronic Computers*, **1**, 33, 1952.

[3] BOWDEN, B. V. (publié par). «Faster than Thought». Ch. 3. Sir Isaac Pitman and Sons, Londres. 1953.

[4] *Ibid.*, Ch. 6.

[5] *Ibid.*, Ch. 7.

[6] *Ibid.*, Ch. 8.

[7] PINKERTON, J. M. M. et KAYE, E. J. *Electronic Engng*, **26**, 284, 1954.

[8] HARTREE, D. R. *Endeavour*, **8**, 65, 1949.

[9] BRADBURD, E. M. *Elec. Commun.*, **28**, 46, 1951.

[10] HILL, N. D. «Automatic Digital Computation» (Proceedings of National Physical Laboratory Symposium, 1953), p. 46. Her Majesty's Stationery Office, Londres. 1954.

[11] THOMPSON, T. R. *Ibid.*, p. 85.

[12] MILLER, J. C. P. *Ibid.*, p. 160.

[13] HARTREE, D. R. «Numerical Analysis». Clarendon Press, Oxford. 1952.

[14] TAYLOR, N. H. *Proc. Inst. Radio Engrs*, **38**, 1418, 1950.

[15] Computer Development at the National Bureau of Standards, N.B.S. Circular No. 551, Washington. 1955.

[16] LEINER, A. L., ALEXANDER, S. N. et WITT, R. P. *Ibid.*, p. 55.

[17] BUCHOLZ, W. *Proc. Inst. Radio Engrs*, **41**, 1262, 1953.

[18] EVERETT, R. R. *Elec. Engng*, **71**, 681, 1952.

[19] WILLIAMS, F. C., KILBURN, T. et THOMAS, G. E. *Proc. Instn elect. Engrs, Pt.* II, **99**, 94, 1952.

[20] WELBY, B. G. *Electronics*, **26**, 115, 1953.

[21] GILL, S. *Proc. roy. Soc., A*, **206**, 538, 1951.

[22] WILKES, M. V., WHEELER, D. J. et GILL, S. «The Preparation of Programmes for an Electronic Digital Computer». Addison-Wesley Press, Cambridge, Mass. 1951.

[23] BENNETT, J. M. et KENDREW, J. C. *Acta Cryst.*, **5**, 109, 1952.

[24] BROOKER, R. A. *Brit. J. appl. Phys.*, **4**, 321, 1953.

[25] SHELDON, J. et THOMAS, L. H. *J. appl. Phys.*, **24**, 235, 1953.

[26] COCHRAN, I. W. et DOUGLAS, A. S. *Proc. roy. Soc., A*, **227**, 486, 1955.

[27] BLACK, G. *Proc. phys. Soc., B*, **67**, 569, 1954.

[28] BUSHBY, F. H. et HINDS, M. K. *Quart. J. roy. Meteorol. Soc.*, **80**, 165, 1954.

[29] *Astr. Pap., Wash.*, **12**, 1951.

[30] *Electronic Engng*, **28**, 204, 1956.

[31] WILKES, M. V. «Automatic Digital Computers», Methuen, Londres. 1956.

Aurores polaires et tropicales

par JAMES PATON

On ne sait pas en général que l'aurore dite polaire, phénomène caractéristique des hautes latitudes, se produit parfois ailleurs, et même près de l'équateur. On a grand besoin de connaissances supplémentaires sur ces illuminations des basses latitudes pour mieux comprendre le phénomène et leur observation sera un élément important du programme de l'Année Géophysique Internationale prochaine. Nous profitons de cette occasion pour appuyer la demande, formulée dans cette étude générale, de comptes rendus aussi exacts que possible d'aurores tropicales durant l'Année Géophysique.

Les couches supérieures de l'atmosphère émettent continuellement une faible lumière tout autour de la terre; mais, même l'absence de lune ne permet pas à l'œil de capter d'ordinaire cette luminosité. Il existe, toutefois, une émission presque constante beaucoup plus brillante qu'on peut voir aisément dans l'obscurité tout autour du globe en deux zones situées approximativement à 23° des deux pôles magnétiques terrestres. C'est l'aurore polaire, appelée boréale dans l'hémisphère nord et australe dans l'hémisphère sud. Pendant les périodes d'activité maximum des taches solaires, il arrive que le phénomène se manifeste bien loin de ses zones normales plusieurs heures de suite et devient visible sur une vaste étendue allant parfois des pôles presque jusqu'à l'équateur. Et quand la luminosité dépasse le seuil de la perception des couleurs, les spectateurs assistent à un tableau de colorations changeantes, animé d'étranges pulsations et d'une splendeur impossible à décrire. L'apparition d'une grande aurore peut être si fantastique qu'elle engendre la crainte et la panique chez les peuples des basses latitudes où elle se produit rarement.

La lumière des aurores a une origine très différente de celle de la luminescence de l'air des couches supérieures. Cette dernière tire son énergie du stock accumulé pendant la journée par l'ionisation et la dissociation des gaz atmosphériques sous l'influence des rayons ultraviolets du soleil. Les réactions chimiques qui s'ensuivent chez les produits ionisés et dissociés libèrent l'énergie accumulée sous la forme de rayonnement touchant toutes les parties du monde. L'aurore, par contre, est causée par l'entrée dans l'atmosphère supérieure d'un flux de particules chargées, ions et électrons, venant du soleil. La déflexion électromagnétique du champ magnétique terrestre oriente le faisceau de particules vers des régions limitées de l'écorce terrestre, la zone précise de précipitation dépendant de la vitesse, la composition et l'angle d'incidence du courant. La lumière de l'aurore provient surtout des gaz atmosphériques bombardés et, quelquefois aussi, des protons du faisceau ayant capturé un électron.

L'aurore étant visible par toutes les nuits claires des zones décrites, il semble donc qu'un faisceau de corpuscules d'origine solaire se dirige continuellement vers la terre avec une vitesse et une densité qui limitent la précipitation à ces zones seules. En outre, ce faisceau augmente l'ionisation de l'atmosphère supérieure et produit des changements dans l'ionosphère. Ceux-ci causent à leur tour des modifications dans les courants de l'atmosphère supérieure, qui se révèlent par des perturbations dans le champ magnétique terrestre. Il n'est donc pas surprenant que l'intensité de la déviation géomagnétique atteigne son maximum normal près de la latitude géomagnétique 67°, c'est-à-dire dans les zones de l'aurore.

Les grandes aurores visibles sur la majeure partie du globe se produisent en général à la suite d'une explosion ou éruption intense dans la portion centrale du disque solaire. Cette observation fut, en effet, la première preuve importante de l'origine solaire des aurores. Les événements terrestres qui accompagnent ou suivent l'explosion ont lieu dans l'ordre suivant: presque en même temps on constate un fading des ondes courtes de radio et un «crochet magnétique», déviation brusque mais peu importante du champ de la terre. Ces phénomènes ne se produisant pas du côté non éclairé de la terre résultent sans aucun doute de l'ionisation intense de l'atmosphère supérieure, causée par un jaillissement de lumière ultraviolette venant de l'explosion; ce jet ne met que huit minutes pour nous parvenir. Ce n'est que 24 heures plus tard, toutefois, qu'on assiste à une aurore géante et à des perturbations magnétiques assez intenses pour mériter le nom de

FIGURE 1 – *Bande rayée se transformant en rideau.*

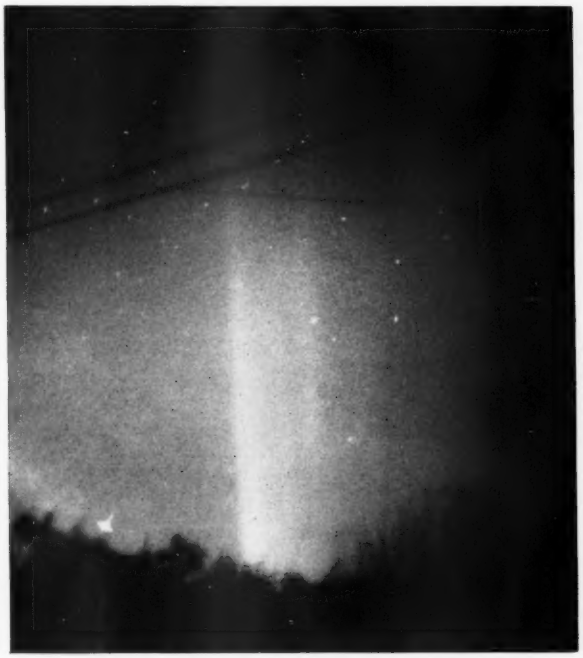


FIGURE 2 – *Rayons traversant la lueur sur l'horizon.*

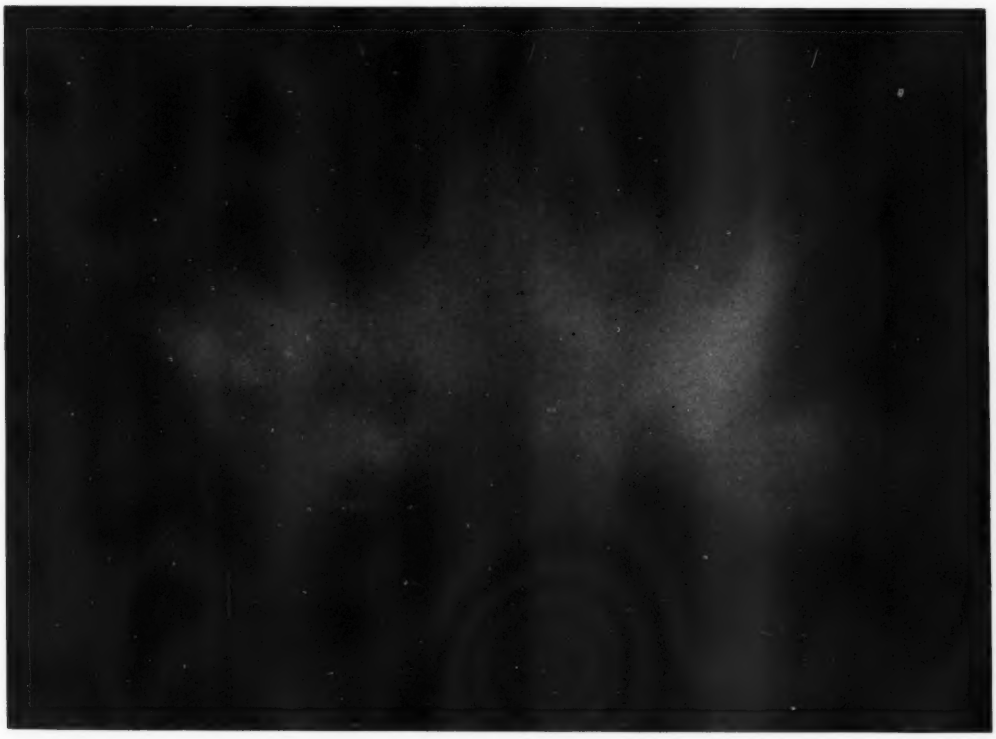


FIGURE 3 – *Couronne.*

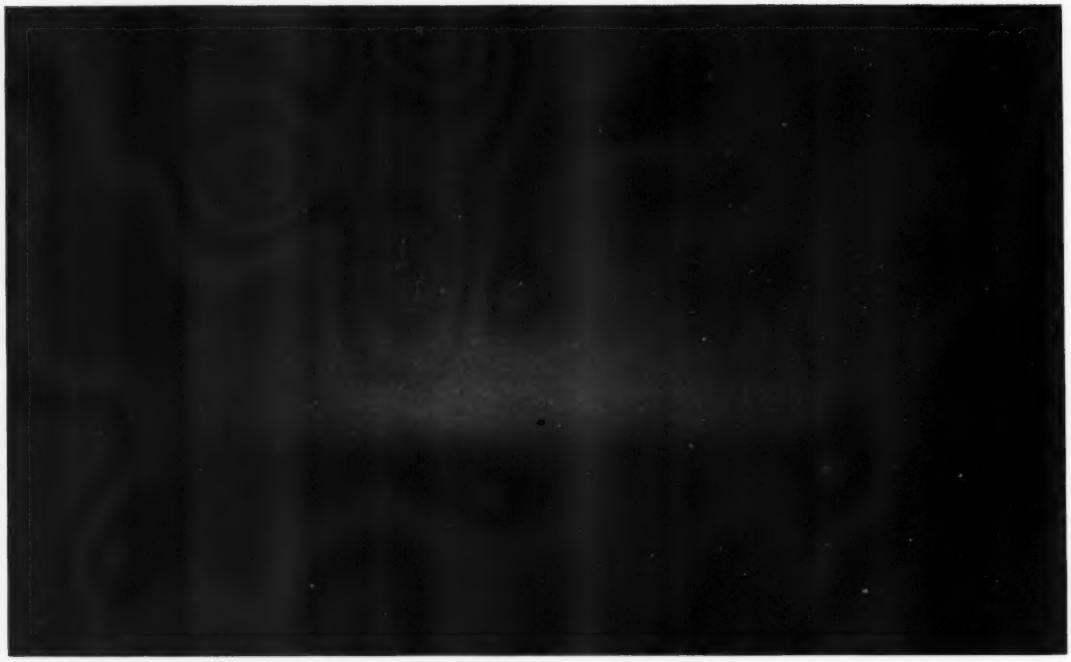


FIGURE 4 – *Sommet d'un arc diffus immobile.*

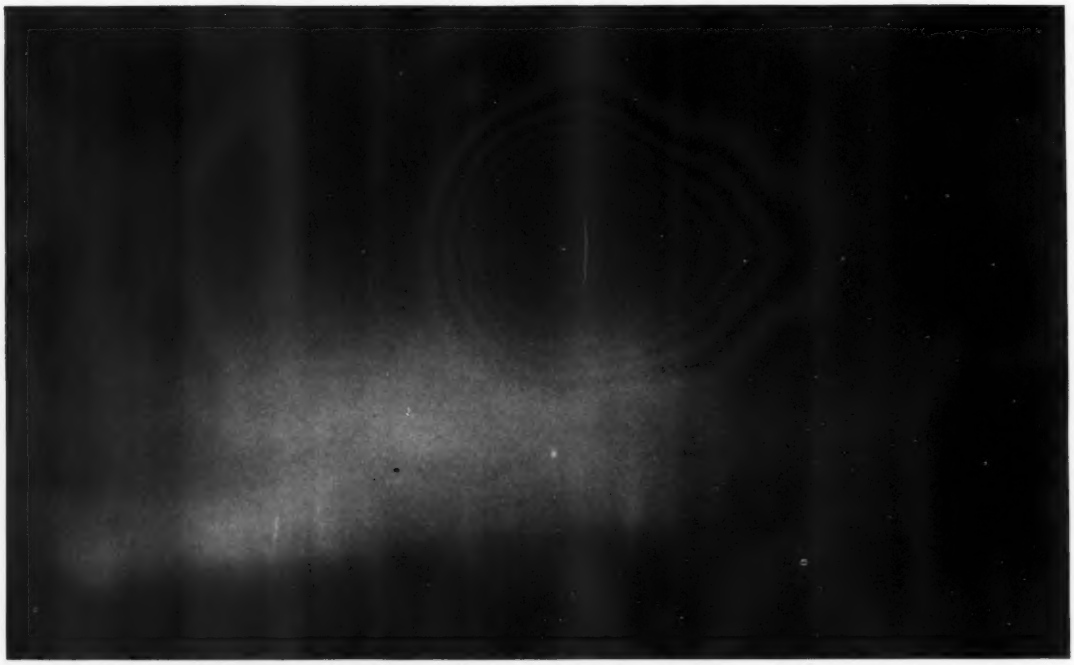


FIGURE 5 – *L'arc diffus représenté à la figure 4 se disperse en un jet de rayons.*

«tempête magnétique». Le retard constaté dans l'apparition de ces derniers phénomènes s'explique facilement si on attribue leur origine à un flux de particules matérielles projetées du soleil au moment de l'explosion, qui ne pénètre dans l'atmosphère supérieure qu'au bout de 24 heures; dans ce cas, la vitesse des particules doit être de l'ordre de 1500 km par seconde. Les explosions ayant une relation étroite avec les taches solaires, les aurores observées dans les régions plus méridionales que le nord de l'Angleterre (55–60° N) se reproduisent, comme les maxima d'activité solaire tous les onze ans.

Dans les années d'activité solaire minimum, cependant, l'aurore polaire continue à être observée fréquemment même dans des régions aussi éloignées des zones normales que le nord de l'Angleterre. Ces aurores sont visibles tous les 27 jours et on les explique par un flux de particules continuant à jaillir pendant une longue période d'une portion limitée de la surface solaire — que J. Bartels appelle la région M —, à la façon d'un jet d'eau sortant d'un tuyau. Et comme la période de rotation du soleil est d'environ 27 jours pour un observateur terrestre, ce courant balaierait la surface du globe à cette fréquence, rendant ces aurores périodiques visibles dans une zone dépassant de 10° dans les deux sens celle où l'aurore est normalement visible.

On a étudié le comportement théorique [1, 2] dans le champ magnétique terrestre d'un flux solaire d'ions et d'électrons de charge totale nulle (voir page 46), se dirigeant vers la terre et la dépassant. La question est d'une difficulté extrême et sa solution toujours aussi incertaine en dépit d'une explication acceptable des premiers stades d'une tempête magnétique [1]. Bien que l'on pense généralement que l'émission de lumière aurorale résulte principalement de l'excitation et de l'ionisation d'atomes et de molécules atmosphériques par les particules primaires du flux solaire ou par des électrons secondaires projetés dans l'atmosphère pendant leur passage, Alfvén voit dans le phénomène une décharge gazeuse capable de transporter un courant entre des charges associées au flux corpusculaire passant à une grande distance de la terre dans l'espace, et l'ionosphère.

L'aurore boréale est visible en moyenne dix nuits par an dans le sud de l'Angleterre, et dans le nord de la France, de l'Allemagne et des Etats-Unis. On ne la voit généralement dans ces pays que sous la forme d'une lueur le long de l'horizon septentrional, ressemblant nettement à l'aube (figure 2). C'est d'ailleurs là l'origine du terme aurore boréale, ainsi appelée par les habitants de ces régions très peuplées. Le nom s'applique moins bien à une aurore très brillante, où la lueur monte dans le ciel pour former un arc régulier, immobile (figure 4); plus tard, l'arc s'illumine tout à coup et se désagrège en une série de bandes rayées irrégulières (figure 5) dont les plis lui donnent l'apparence d'immenses rideaux s'agitant dans le ciel (figure 1). Et quand de ces draperies s'élèvent des flèches lumineuses, celles-ci ont l'air de converger en perspective vers le point du ciel indiqué par la pointe sud d'une boussole d'inclinaison. Les flèches sont donc parallèles et coïncident avec les lignes de force du champ magnétique terrestre. On appelle couronne cette forme la plus remarquable du phénomène (figure 3). A mesure que le spectacle atteint son apogée et recule peu à peu vers le nord, il y a en général un flamboiement intense; des ondes de lumière s'élancent de l'horizon vers le zénith.

L'étude du spectre de l'aurore est importante, non seulement pour les indications qu'elle fournit sur l'origine du phénomène, mais aussi pour l'aide qu'elle apporte à la détermination de la composition et des propriétés de l'atmosphère aux niveaux d'émission de la lumière. Les difficultés expérimentales sont énormes, car la luminosité intrinsèque est faible et les formes les plus brillantes de l'aurore sont en général très mobiles. De plus, le long intervalle séparant les collisions successives d'atomes et de molécules dans l'atmosphère supérieure conduit à des émissions associées à des phénomènes de transition en désaccord avec les lois de la sélection, c'est-à-dire à des émissions «défendues» difficiles à reproduire en laboratoire. L'origine des raies spectrales est donc souvent douteuse et les raies elles-mêmes parfois brouillées par des chevauchements. On a reconnu toutefois les raies de l'oxygène et de l'azote atomique neutre et ionisé ainsi que celles de ces corps sous forme moléculaire. On vient aussi d'étudier les nombreux processus apparemment responsables des diverses émissions [3].

L'emploi récent de spectrographes à grand pouvoir séparateur et rétenteur de lumière, donnant des spectres mesurables avec des poses minimum, a permis l'étude des caractères spectraux d'aspects momentanés des aurores. On a ainsi identifié certaines raies d'éléments présents dans le courant solaire incident. Les raies Balmer d'hydrogène furent reconnues pour la première fois par Vegard et confirmées par Gartlein. La mesure [4] du déplacement Doppler de la ligne Hα dans le

spectre d'un arc situé près du zénith montra que les protons du courant solaire possèdent une vélocité de l'ordre de 3300 km par seconde. L'émission de lumière n'étant possible que lorsque le proton a ralenti suffisamment pour capturer un électron, la vitesse à laquelle les protons pénètrent dans l'atmosphère doit être bien supérieure à celle que détermine le déplacement de Doppler. L'émission Hα cessant quand l'arc immobile se transforme en rayons, il semble donc que les protons ne jouent aucun rôle dans la formation de ces derniers. L'analyse spectrale prouve aussi dans une certaine mesure la présence de sodium dans le courant solaire.

La majeure partie des connaissances sur les caractères généraux des aurores est due aux travaux remarquables de Carl Störmer, professeur de mathématiques pures à l'Université d'Oslo, et à ses collègues de Norvège. Le point de départ des recherches fut une expérience spectaculaire réalisée au début du siècle par un collègue de Störmer, Kristian Birkeland. Essayant de reproduire une aurore en laboratoire, celui-ci exposa une sphère aimantée représentant la terre à un courant de rayons cathodiques dans un grand tube à décharge. L'incidence des rayons sur la sphère était rendue visible par un revêtement fluorescent et, après mise au point convenable, on vit apparaître des spirales très nettes autour des pôles. Cette reproduction expérimentale apparemment exacte d'une aurore encouragea Störmer [5] à entreprendre la tâche difficile et laborieuse d'évaluer numériquement les trajectoires d'un électron se déplaçant dans le champ d'un dipôle et à expliquer ainsi certaines formes de l'aurore boréale. La difficulté de l'hypothèse d'un faisceau de particules de signe uniforme réside dans le fait que la répulsion électrostatique mutuelle le forcerait à se disperser longtemps avant d'atteindre la terre. C'est pour cette raison que les théories nouvelles supposent un flux solaire se composant d'ions et d'électrons. Le prolongement des travaux classiques de Störmer a, cependant, trouvé une application importante dans la théorie des rayons cosmiques.

Quand Störmer entreprit ses travaux théoriques, on manquait d'information exacte sur la hauteur et la disposition dans l'espace des diverses formes aurorales. Il inventa alors une ingénieuse méthode photographique [5] pour obtenir ces mesures nécessaires à la vérification de la théorie. A l'aide d'appareils photographiques spéciaux, on prit des clichés simultanés du même aspect du phénomène dans deux localités au moins, séparées par des distances allant de trente à plusieurs centaines de kilomètres. Il était facile alors de déterminer hauteur et position en mesurant le déplacement parallactique, par rapport au reste des étoiles, de points correspondants de l'aurore sur deux images identiques. Störmer découvrit par cette méthode que les aspects les plus brillants de l'aurore sont situés à des hauteurs de près de 100 km, bien qu'on les trouve aussi à 70 km seulement. Il constata qu'aux approches de l'aube ou du coucher du soleil, les rayons peuvent atteindre des hauteurs énormes, jusqu'à 1000 km.

L'étude photographique de l'aurore est limitée aux périodes de la nuit où le ciel est clair. Mais il n'y a aucun doute que l'aurore se produise de jour comme de nuit, car la tempête magnétique qui accompagne le phénomène nocturne se poursuit dans la journée. Les méthodes d'écho radioélectrique en cours de mise au point permettront peut-être d'étudier les aurores sans interruption et sans avoir à se soucier des nuages, du clair de lune, du crépuscule ou de la lumière du jour. Durant l'Année Polaire 1932–33, on découvrit [6] que l'aurore est accompagnée d'une augmentation de l'ionisation sous la couche E, si intense qu'à ces moments-là l'étude des conditions ionosphériques par les méthodes conventionnelles de sondage avec des fréquences de l'ordre de 1–20 Mc/s était impossible en raison de leur atténuation presque totale. On se rendit compte, toutefois, par la suite qu'il était possible d'obtenir des échos avec des fréquences plus élevées. En 1947, la Station Expérimentale de Jodrell Bank [7], utilisant une fréquence de 46 Mc/s, enregistra des échos semblant venir d'un nuage luminescent situé à l'extrémité d'un rayon. Des observations similaires ont été faites depuis en Scandinavie et en Amérique du Nord. L'interprétation de l'origine des échos est toujours douteuse. Certains expérimentateurs [8], ne trouvant aucune relation entre le champ des échos et la position des formes aurorales, suggèrent que ce ne sont pas là des échos véritables venant de l'aurore, mais qu'ils rebondissent simplement à la surface du globe, la vibration sondante voyageant vers la couche E anormale par réflexion et revenant de la même façon. Mais la plupart des observations semblent prouver que les échos sont produits soit par dispersion après rencontre avec des colonnes d'ionisation associées aux rayons de l'aurore, soit par réflexion totale sur d'épais nuages isotropiques d'ionisation [9]. Les recherches par les méthodes d'échos radioélectriques n'ont donc pas été très fructueuses jusqu'ici; il semble même qu'au

moment de la nuit où les aurores sont le plus fréquemment visibles (21 h. G.M.T. environ), la fréquence des échos soit à son minimum.

L'OBSERVATION DES AURORES PENDANT L'ANNÉE GÉOPHYSIQUE

Le 1er juillet 1957, les géophysiciens du monde entier entameront un programme international d'études du globe terrestre et de son atmosphère [10]. Cela comprend un plan détaillé d'observation mondiale des aurores par toutes les méthodes connues. Il va de soi que les recherches se feront principalement à l'intérieur et au voisinage des zones aurorales, mais comme l'Année Géophysique Internationale (A.G.I.) coïncide à dessein avec la période d'activité solaire maximum, il est certain que le phénomène sera visible quelquefois dans les basses latitudes, peut-être même à proximité de l'équateur. Mais bien qu'on possède des rapports de bonne foi sur les aurores tropicales — celle du 25 septembre 1909, par exemple, observée à Singapour (latitude 1° N) — le Professeur S. Chapman, président du comité central de l'A.G.I., qui est chargé de coordonner les observations aurorales, a parcouru tous les comptes rendus d'aurores tropicales sans y trouver de précisions sur leurs caractères exacts. Il insiste sur l'importance de ces observations durant l'Année à venir et fait remarquer que les études intensives poursuivies dans les zones d'aurores ou à proximité seront incomplètes si l'on manque de précisions sur les formes du phénomène dans les basses latitudes [11]. Il est donc essentiel d'attirer l'attention de tous les observateurs des régions tropicales et subtropicales sur ce point, qu'ils soient associés ou non au programme de l'A.G.I., et de leur faire comprendre qu'ils pourront rendre d'immenses services en ouvrant simplement les yeux et en notant avec exactitude toute manifestation lumineuse extraordinaire qu'ils remarqueront dans le ciel nocturne.

La surface du soleil sera en observation constante toute l'année et un centre spécial enverra des messages dans le monde entier en cas de recrudescence d'activité solaire faisant prévoir des aurores plus largement répandues. Non seulement les spécialistes seront-ils immédiatement avertis, mais les services d'information radiophoniques de tous les pays diffuseront la nouvelle également. On espère que les observateurs des basses latitudes se prépareront alors à faire un compte rendu chronologique exact des événements. Les aviateurs traversant les tropiques seront particulièrement bien placés pour observer le phénomène au-dessus des nuages. Ils verront davantage d'aurores lointaines que l'observateur au ras du sol. Tous les efforts ne seront certes pas récompensés, mais la probabilité de succès est assez grande pour justifier une alerte constante.

Il sera utile, toutefois, de poursuivre ces observations pendant un an ou deux après l'A.G.I. où évidemment tous les phénomènes géophysiques seront en surveillance constante, car l'expérience passée a prouvé que les effets solaires sur le globe terrestre ont tendance à être le plus marqués dans les années qui suivent l'activité maximum des taches solaires.

Toute aide dans l'examen des rapports officiels, journaux, livres de bord, journaux et lettres privées faisant mention d'aurores tropicales passées sera aussi la bienvenue. Citons seulement la date des douze plus violentes tempêtes magnétiques enregistrées à Greenwich pendant la période 1874–1954: 17 et 20 novembre 1882; 31 octobre 1903; 25 septembre 1909; 13 mai 1921; 25 janvier et 16 avril 1938; 24 mars 1940; 1er mars et 18 septembre 1941; 28 mars et 21 septembre 1946. L'étude de documents portant ces diverses dates sera probablement fructueuse. Il serait bon aussi d'avoir quelques détails supplémentaires sur les aurores tropicales de 1859 (28 août au 2 septembre) et de 1872 (4 février).

On est prié d'adresser tout compte rendu d'aurore tropicale et toute demande de renseignements sur les observations d'aurores à l'auteur de cet article (Mr J. Paton, Department of Natural Philosophy, The University, Edinburgh, Great Britain) qui est correspondant de la Section des Aurores et de la Luminescence de l'Air du Comité National Britannique pendant l'A.G.I.

BIBLIOGRAPHIE

[1] CHAPMAN, S. et BARTELS, J. «Geomagnetism». Clarendon Press, Oxford. 1940.
[2] ALFVÉN, H. «Cosmical Electrodynamics». *Ibid.*, 1950.
[3] BATES, D. R. *Ann. Géophys.*, **11**, 3, 1955.
[4] MEINEL, A. B. *Astrophys. J.*, **113**, 50, 1951.
[5] STÖRMER, C. «The Polar Aurora». Clarendon Press, Oxford. 1955.
[6] APPLETON, E. V., NAISMITH, R. et BUILDER, G. *Phil. Trans., A*, **236**, 191, 1937.
[7] LOVELL, A. C. B., CLEGG, J. A. et ELLYET, C. D. *Nature, Lond.*, **160**, 372, 1947.
[8] HARANG, L. et LANDMARK, B. *J. atmos. terr. Phys.*, **4**, 322, 1954.
[9] BOOKER, H. G. *Ibid.*, **8**, 204, 1956.
[10] *Endeavour*, **14**, 59, 1955.
[11] CHAPMAN, S. «The aurora in middle and low latitudes». Chapitre du manuel de l'A.G.I. sur les aurores. (Sous presse.)

La structure de l'insuline

par F. SANGER et L. F. SMITH

La diversité des rôles joués par les protéines est si remarquable qu'il serait superflu de souligner leur importance biologique. Certaines, le collagène et la kératine notamment, servent à la structure; d'autres, telles que l'actomyosine et l'hémoglobine, remplissent des fonctions chimiques spécifiques. D'autres encore, les enzymes, effectuent la catalyse spécifique des étapes diverses du métabolisme. L'hormone qui sert à régler le métabolisme du glucose et qu'on administre aux diabétiques, l'insuline, est une protéine de toute importance. C'est un véritable tour de force qu'on a réalisé en déchiffrant sa structure chimique.

La dégradation du glucose fournit la plupart de l'énergie dont l'organisme a besoin: il est essentiel que sa concentration dans le sang soit aussi constante que possible. Si elle est trop faible il y aura convulsions et effets de choc; trop élevée, elle peut provoquer le coma. L'organisme requiert donc un dispositif permettant d'ajuster le niveau du glucose dans le sang: l'insuline y est l'un des principaux facteurs. Elle est produite par les îlots de Langerhans, des groupes de cellules situées dans le pancréas. Si le niveau du glucose dans le sang est trop élevé ces cellules sont stimulées, l'insuline est déversée dans le sang et charriée dans le corps tout entier; et là, par un mécanisme inconnu, elle provoque l'élimination du glucose. Dans le diabète le fonctionnement des îlots est déficient; ils sécrètent trop peu d'insuline pour maintenir le glucose du sang à un taux suffisamment bas: de là les symptômes caractéristiques de la maladie. On peut la soulager avec des injections d'insuline que l'on obtient industriellement à partir de pancréas de bétail et d'autres animaux.

Quel que soit le rôle physiologique d'un composé donné, il dépendra forcément de sa structure chimique. Il n'est donc pas surprenant qu'on ait consacré tant d'effort à l'étude de la chimie des protéines puisqu'elles remplissent une variété de rôles biologiques vraiment remarquable. Toutefois les progrès dans ce domaine ont été ralentis par les grandes dimensions des molécules de protéines et par leur complexité extrême. Ce n'est que tout récemment qu'on est arrivé à écrire la formule chimique complète d'une protéine. C'est justement l'insuline et notre article traitera des travaux consacrés à sa structure.

La détermination des poids moléculaires des protéines a occupé une place importante dans ces travaux. On a trouvé qu'en général les protéines sont de grosses molécules dont le poids varie de 5000 à plusieurs millions. L'insuline est une des plus petites, de poids moléculaire 5733 [1, 2]. En solution aqueuse cependant, elle s'agrège et le poids apparent de la particule est bien plus considérable.

Les constituants fondamentaux des protéines sont les acides aminés dont la formule générale est $R.CH(NH_2).COOH$. Dans la plupart des protéines on rencontre couramment vingt et un de ces acides qui se distinguent par la nature de leur groupe R: le tableau 1 en donne la liste. L'insuline les contient tous sauf la méthionine, le tryptophane et la cystéine. Les résidus d'acides aminés donnent les protéines par la formation de liaisons amides ou peptides entre chaque groupe carboxyle α et le groupe amine α suivant. Ainsi s'édifient de longues chaînes polypeptides ayant la structure générale:

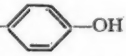
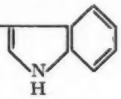
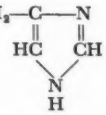
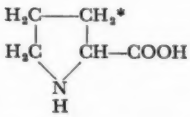
$$\overset{R}{\overset{|}{NH_2CH}}.CO\left[-NH.\overset{R}{\overset{|}{CH}}.CO-\right]_n \overset{R}{\overset{|}{NH.CH}}.COOH$$

Lorsqu'on hydrolyse une protéine avec un acide fort on brise les liaisons peptides et l'on obtient un mélange des acides aminés constituants; à l'aide des procédures d'analyse appropriées on déterminera le nombre des résidus de chacun d'eux. Le tableau 1 en donne les valeurs pour l'insuline.

Si l'on examine la formule d'une chaîne de polypeptides donnée plus haut on pourra y distinguer trois types de résidus. La plupart des acides aminés se présentent sous la forme de —NH.CHR.CO—; leurs groupes aminés et carboxyles sont bloqués. Le résidu de gauche a un groupe amine α libre ($NH_2CHR.CO$—). Ceci s'appelle le résidu de terminaison N; en appliquant les réactions chimiques appropriées on peut les identifier et les dénombrer. A l'autre extrémité de la chaîne on a un résidu de terminaison C, porteur d'un groupe carboxyle α libre. L'étude de ces résidus de terminaison a pris une importance considérable dans la chimie des protéines; ils permettent en effet non seulement de situer la position de certains résidus dans la chaîne, mais aussi de fournir certains éclaircissements sur la

TABLEAU I

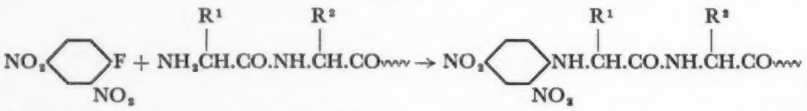
Acides aminés courants dans la nature

Acides aminés	*Structure du groupe* R	*Abréviation employée pour le résidu —NH—CH(R)—CO—*	*Nombre de résidus dans l'insuline*
Aliphatiques			
Glycine	—H	Gly	4
Alanine	$—CH_3$	Ala	3
Valine	$—CH(CH_3)_2$	Val	5
Leucine	$—CH_2—CH(CH_3)_2$	Leu	6
Isoleucine	$—CH(CH_3)—CH_2—CH_3$	Ileu	1
Sérine	$—CH_2—OH$	Sér	3
Thréonine	$—CH(OH)—CH_3$	Thr	1
Aromatiques			
Phénylalanine	—CH_2—	Phé	3
Tyrosine	—CH_2—  —OH	Tyr	4
Tryptophane	—CH_2— 	Try	0
Acides			
Acide aspartique	$—CH_2—COOH$	Asp	0
Acide glutamique	$—CH_2—CH_2—COOH$	Glu	4
Amides			
Asparagine	$—CH_2—CONH_2$	$AspNH_2$	3
Glutamine	$—CH_2—CH_2—CONH_2$	$GluNH_2$	3
Basiques			
Lysine	$—CH_2—CH_2—CH_2—CH_2—NH_2$	Lys	1
Arginine	$—CH_2—CH_2—CH_2—NH—C(=NH)—NH_2$	Arg	1
Histidine	—CH_2— 	His	2
Contenant du S			
Cystéine	$—CH_2—SH$	CySH	0
Cystine	$—CH_2—S—S—CH_2—$	CyS—CyS	3
Méthionine	$—CH_2—CH_2—S—CH_3$	Mét	0
Cyclique			
Proline		Pro	1

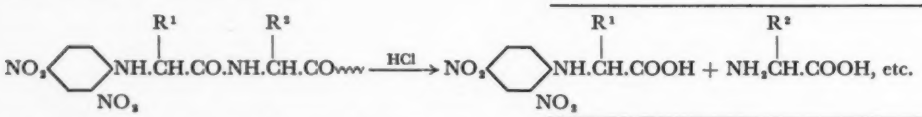
* Structure complète de l'acide aminé.

structure d'ensemble de la protéine. On peut s'en servir pour caractériser la protéine et vérifier sa pureté [3–5]. Comme toute chaîne ouverte de polypeptides possède un résidu de terminaison N et un de terminaison C, leur répartition peut permettre de mesurer le nombre de chaînes présentes, à condition qu'il n'y en ait pas de cycliques ni de ramifiées.

Pour aborder la molécule d'insuline on a élaboré une méthode générale pour identifier et évaluer les résidus de terminaison N [6]. Le dinitro-2:4-fluoro-1-benzène (DNFB) réagit avec les groupes aminés des peptides et des protéines en donnant des composés dinitrophényles (DNP):

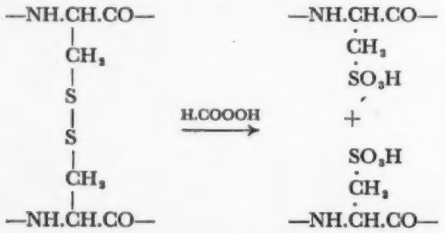


Cette nouvelle liaison résiste généralement mieux à l'hydrolyse que les liaisons peptides et l'on obtient donc des acides aminés et le dérivé DNP du résidu de terminaison N:



Les acides DNP aminés jaunes sont isolés et identifiés par chromatographie sur des colonnes de gel de silice ou de papier filtre. Grâce à cette méthode on a trouvé que la glycine et la phénylalanine occupent des positions de terminaison N dans l'insuline, ce qui indique qu'il y a au moins deux chaînes de polypeptides dans la molécule, l'un se terminant par un résidu N de glycine, l'autre de phénylalanine.

L'insuline contient trois résidus de cystine et l'on verra par sa structure (figure 1) que cet acide aminé est capable de réunir deux chaînes de polypeptides par un pont à deux atomes de soufre. Pour briser ces cloisonnements disulfurés on a oxydé l'insuline avec de l'acide performique, qui transforme un résidu de cystine en deux résidus d'acide cystéique (en abrégé $CySO_3H$)



A l'issue de ce traitement on a pu isoler deux fractions: l'une, qui est acide, n'a qu'une glycine de terminaison N (fraction A), l'autre, basique, qui n'a qu'une phénylalanine de terminaison N (fraction B) [7]. Des renseignements supplémentaires prouvèrent que chacune est homogène et que la chaîne A avait 21 résidus d'acides aminés dont quatre étaient l'acide cystéique, tandis que la chaîne B avait 30 résidus dont deux était l'acide cystéique. On a brisé ainsi la molécule d'insuline en deux chaînes polypeptidiques de base, simplifiant le problème suivant: l'établissement de la succession des acides aminés dans les deux chaînes.

Voici comment on peut illustrer la méthode employée: dans le cas d'un dipeptide on peut déterminer la composition des acides aminés par hydrolyse complète de l'échantillon. Supposons qu'on obtienne les acides aminés A et B. On additionne un autre échantillon de DNFB, ce qui donne l'acide aminé de terminaison N. S'il est A la structure du dipeptide doit être A.B (par convention on écrit à gauche l'acide aminé ayant le groupe aminé libre). On peut multiplier ce raisonnement pour dévoiler la structure de peptides de plus grande dimension: on les hydrolyse partiellement d'abord, d'où une série de dipeptides dont on pourra établir la structure; on en déduit après la structure du gros peptide. Ainsi l'hydrolyse partielle d'un peptide A.B.C.D pourrait donner les dipeptides A.B, B.C, et C.D dont on pourrait déduire une succession unique pour le tétrapeptide. Si l'on rencontre un résidu donné plus d'une fois dans un peptide, la structure complète ne pourra se déduire de dipeptides et l'on devra obtenir des peptides plus grands.

Telle est dans l'ensemble la méthode employée pour débrouiller la succession des acides aminés des chaînes A et B de l'insuline. La difficulté présentée par de grands polypeptides de ce genre était d'ordre technique: il fallait isoler les peptides de l'hydrolysat partiel, car la procédure n'est valable que si les peptides sont purs. Ainsi, d'un polypeptide linéaire de 30 résidus comme la fraction B, on pourrait obtenir 29 dipeptides, 28 tripeptides, 27 tétrapeptides, etc. En pratique, on dispose de deux moyens pour réduire ce nombre.

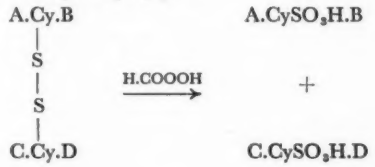
Si l'on hydrolyse le polypeptide avec de l'acide on poursuit l'opération assez longtemps pour dégrader la plupart des peptides les plus longs: le mélange ne contient alors que de petits peptides et des acides aminés libres. Une autre méthode est d'effectuer l'hydrolyse au moyen d'enzymes protéolytiques. On ne brise ainsi que certaines liaisons peptides adjacentes à certains acides aminés. Par exemple la trypsine, une enzyme pancréatique, n'hydrolyse que les liaisons peptides formées par les groupes carboxyles de la lysine ou de l'arginine. Donc, un peptide tel que Gly.Glu.Arg.Gly.Phé, qui pourrait donner par hydrolyse acide quatre dipeptides, trois tripeptides et quatre tétrapeptides, ne donnera que deux peptides — Gly.Glu.Arg et Gly.Phé — par traitement avec la trypsine. Mais même avec ces deux méthodes d'hydrolyse partielle le fractionnement des peptides résultants constituait toujours un problème majeur, et ce n'est qu'après l'introduction de la chromatographie sur papier [8, 3, 9] qu'il devint possible d'essayer de séparer des mélanges aussi complexes. Cette méthode s'avéra la plus utile au cours de ces travaux, particulièrement pour les petits peptides produits par l'hydrolyse acide. Pour les peptides plus grands on réussit généralement de meilleures séparations par l'électrophorèse sur papier [10, 11, 13]. L'échange ionique et la chromatographie d'adsorption ont aussi été employés pour des fractionnements préliminaires de ces mélanges.

A titre d'exemple, nous montrerons comment une partie de la succession de la chaîne B fut déduite. L'acide aspartique ne se présente qu'une fois dans la chaîne; tout peptide le contenant doit donc appartenir à la même série. Dans un hydrolysat acide partiel on trouva deux dipeptides, Val.Asp et Asp.Glu: la succession est donc Val. Asp.Glu. Ceci fut confirmé par l'identification d'un tripeptide Val.[Asp,Glu]. (L'inclusion de résidus entre crochets dans une formule indique que l'ordre relatif n'est pas connu). Un autre tripeptide Phé.[Asp,Val] prolongea la série pour donner Phé.Val.Asp.Glu et un pentapeptide Phé. [Asp,Glu,His,Val] suggéra que le résidu qui suivait la glutamine était l'histidine.

Des petits peptides produits par hydrolyse acide partielle on déduisit plusieurs successions, mais on ne put en tirer la série complète de la chaîne B. Ainsi, dans tout peptide contenant de la sérine on trouva que cet acide aminé occupait la position de terminaison N. On en conclut que la liaison peptide formée par le groupe aminé de la sérine est très labile et que, sous les conditions d'utilisation, elle était toujours rompue. Il était donc impossible de déterminer quel était l'acide aminé qui précédait la sérine. Pour compléter la série, il fallait étudier les peptides plus longs produits par l'hydrolyse enzymatique: on arriva à déterminer ainsi la structure des chaînes A et B [12, 13]; elles sont représentées dans la figure 1. Les groupes $—NH_2$ indiquent la présence de résidus d'amides: l'asparagine et la glutamine. L'hydrolyse acide de ces résidus donne respectivement de l'ammoniaque et de l'acide aspartique et glutamique. Par contre, ils traversent l'hydrolyse enzymatique sans changement, ce qui permit de les localiser [14].

Le problème final était de montrer quels étaient les demi-résidus de cystine unis dans la molécule intacte d'insuline. A cette fin il fallait isoler des peptides contenant des résidus de cystine et établir leur structure: voici, en résumé, la méthode suivie:

1. Hydrolyse partielle de l'insuline dans des conditions qui préservent les liaisons à deux atomes de soufre.
2. Séparation des peptides à cystine par fractionnement.
3. Oxydation des peptides à cystine en peptides à acide cystéique, p. ex.



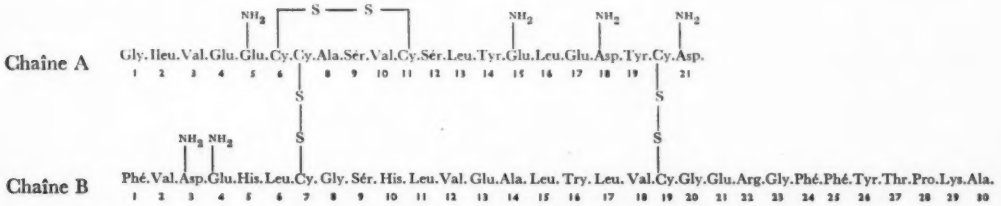


FIGURE 1 – *Structure de l'insuline des bovins.*

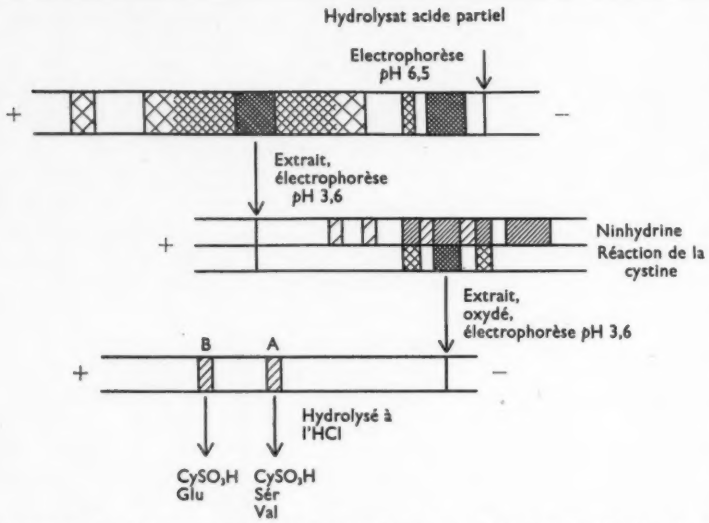


FIGURE 2 – *Diagramme représentant la méthode d'isolation et d'identification d'un peptide à cystine d'insuline.*

4. Identification des peptides à acide cystéique des acides aminés produits par l'hydrolyse. Ces peptides avaient déjà été produits à partir des hydrolysats partiels des chaînes A et B; leurs structures et leurs positions dans les chaînes étaient connues. La structure de peptide original à cystine et la position de la liaison disulfurée dans la molécule d'insuline en résultaient.

Une difficulté inattendue, c'est que, lorsqu'on eut obtenu les peptides d'un hydrolysat acide partiel, on ne put édifier une structure unique; il semblait que tous les demi-résidus à cystine étaient destinés à être liés à tous les autres demi-résidus à cystine. C'était là une situation impossible qui suggérait que l'hydrolyse s'accompagne de quelque réarrangement,

$$R^1\text{—S—S—}R^2 + R^3\text{—S—S—}R^4 \rightarrow R^1\text{—S—S—}R^3 + R^2\text{—S—S—}R^4, \text{ etc.}$$

de sorte que de nouveaux peptides à cystine s'étaient formés, et non de vrais fragments de la molécule d'insuline.

Cette réaction fut étudiée de près [15] et l'on découvrit finalement qu'elle pouvait être empêchée par l'addition de petites quantités de thiols, et l'on finit par créer les conditions permettant l'isolation de peptides à cystine qui étaient réellement des fragments de l'insuline originale. La méthode d'isolation et d'identification d'un peptide typique qui donna la position d'une liaison disulfurée est indiquée dans la figure 2.

L'insuline fut d'abord hydrolysée avec de l'acide en prenant des précautions spéciales pour éviter le réarrangement des liaisons disulfurées. Le mélange des peptides fut ensuite fractionné par électrophorèse, ce qui donna plusieurs bandes. Mais ces bandes n'étaient pas encore résolues suffisamment; après élution, on les soumit à une nouvelle électrophorèse à un *p*H différent. On trouva la position des peptides en employant un réactif à base de ninhydrine, qui réagit avec tous les peptides, et en employant aussi un réactif spécifique pour les peptides à cystine. On eut ainsi un peptide à cystine pur, que l'on oxyda en deux peptides à acide cystéique A et B. On les sépara par électrophorèse et on les hydrolysa complètement. D'après la composition de leurs acides aminés on reconnut respectivement les peptides Sér.Val.$CySO_3H$ (positions A9–11) et Glu.$CySO_3H$ (positions A5–6). Le peptide à cystine original était donc:

Sér.Val.Cy
|
S
|
S
|
Glu.Cy

ce qui prouve la présence d'un pont disulfuré entre les deux demi-résidus de cystine dans les positions A6 et A11. Des peptides tels que

Cy.Ala
|
S
|
S
|
Leu.Cy

et

Cy.Ala
|
S
|
S
|
His.Leu.Cy

prouvèrent que la seconde liaison disulfurée joignait les positions A7 et B7. Les peptides

Tyr.Cy
|
S
|
S
|
Leu.Val.Cy

et

Cy.Asp.NH_2
|
S
|
S
|
Leu.Val.Cy.Gly

confirmèrent le dernier (de A20 à B19). On verra ces liaisons dans la figure 1 qui donne la structure complète de l'insuline des bovins [2, 16].

La structure de la figure 1 est celle d'une substance qui possède une activité physiologique unique et caractéristique, et qui soulève le problème du rapport entre la chimie de l'insuline et son activité. La totalité de la molécule est-elle essentielle, ou l'activité dépend-elle d'un centre actif composé d'un nombre limité de résidus d'acides aminés? L'étude d'insulines modifiées chimiquement indique que la dernière est la plus probable; on peut bloquer sans perte d'activité certains groupes, les groupes amines par exemple. Les ponts disulfurés jouent probablement un rôle puisque leur rupture entraîne la perte immédiate de l'activité. La position qui présente un intérêt spécial est le pont qui joint les deux positions 6 et 11 de la chaîne A, car on trouve un pont de la même longueur dans deux autres hormones, l'oxytocine et la vasopressine qui sont produites par le lobe postérieur de la glande pituitaire.

Une autre façon d'étudier les causes de l'activité de l'insuline est d'examiner les insulines d'animaux différents. Toutes présentant la même activité, on en pourrait conclure que toutes les différences trouvées sont localisées en des parties de la molécule qui sont secondaires du point de vue physiologique. On a étudié l'insuline du mouton, du porc, du cheval et de la baleine [17], et l'on a observé que leurs acides aminés ont une composition légèrement différente de celle de l'insuline des bovins mais que les différences se limitent à des positions dans le résidu intrachaîne à cystine. Les diverses séries sont représentées dans le tableau II. Le restant de la chaîne A et l'ensemble de la chaîne B sont identiques dans les cinq espèces. Ceci implique que les résidus des positions A8–11 n'importent pas du point de vue biologique, mais l'on ne doit pas entendre par là que tout le reste de la molécule soit essentiel. Comme on le voit il y a encore bien à apprendre sur la question de l'activité de l'insuline.

TABLEAU II

Succession des acides aminés des positions A7–10 d'insulines de diverses espèces

Bovins	$CySO_3H$.Ala.Sér.Val
Porc	$CySO_3H$.Thr.Sér.Ileu
Mouton	$CySO_3H$.Ala.Gly.Val
Cheval	$CySO_3H$.Thr.Gly.Ileu
Baleine	$CySO_3H$.Thr.Sér.Ileu

Comme c'était la première protéine dont on eût déterminé l'ordre complet des acides aminés, il était intéressant de rechercher si cet ordre répondait à un plan général, un principe fondamental, peut-être, de la chimie des protéines; mais il n'en serait rien, apparemment. Des résidus individuels ne se retrouvent pas à intervalles réguliers le long des chaînes: on n'observe ni la répétition de petites unités ni la concentration marquante d'acides aminés de même type en aucun point de la molécule. Il semble, en fait, que les acides aminés soient disposés au hasard. Cet arrangement a pourtant une signification profonde puisque c'est là, en quelque sorte, que réside l'activité biologique unique de cette hormone.

Un résultat important de ces travaux est la preuve que l'insuline et probablement d'autres protéines, sont des substances homogènes ayant des structures qui leur sont propres et non des acides aminés polymérisés au hasard de façon purement statistique. Ceci ramène la science des protéines dans le cadre de la chimie organique classique et trace la voie pour des études analogues sur la multitude des autres protéines qui existent dans la nature, nous permettant ainsi de mieux comprendre la chimie de la vie.

BIBLIOGRAPHIE

[1] HARFENIST, E. J. et CRAIG, L. C. *J. Amer. chem. Soc.*, **74**, 3087, 1952.
[2] SANGER, F. *Bull. Soc. Chim. biol.*, **37**, 23, 1955.
[3] TURBA, F. «Hoppe-Seyler/Thierfelder, Handbuch der physiologisch- und pathologisch-chemischen Analyse», 10e édition, **3**, 1648, 1955.
[4] DESNUELLE, P. «The Proteins», publié par H. Neurath et K. Bailey, Academic Press, New-York. **1**, 87, 1953.
[5] SANGER, F. *Symp. Soc. exp. Biol.*, **9**, 10, 1955.
[6] *Idem. Biochem. J.*, **39**, 507, 1945.
[7] *Idem. Ibid.*, **44**, 126, 1949.
[8] CONSDEN, R., GORDON, A. H., et MARTIN, A. J. P. *Ibid.*, **38**, 224, 1944.
[9] THOMPSON, E. O. P. et THOMPSON, A. R. «Progress in the Chemistry of Organic Natural Products», **12**, 270, 1955.
[10] TISELIUS, A. et FLODIN, P. *Advanc. Protein Chem.*, **8**, 461, 1953.
[11] MICHL, H. *Mh. Chem.*, **82**, 489, 1951.
[12] SANGER, F. et TUPPY, H. *Biochem. J.*, **49**, 463, 1951.
[13] SANGER, F., et THOMPSON, E. O. P. *Ibid.*, **53**, 353, 1953.
[14] SANGER, F., THOMPSON, E. O. P. et KITAI, R. *Ibid.*, **59**, 509, 1955.
[15] RYLE, A. P. et SANGER, F., *Ibid.*, **60**, 535, 1955.
[16] RYLE, A. P., SANGER, F., SMITH, L. F. et KITAI, R. *Ibid.*, **60**, 541, 1955.
[17] BROWN, H., SANGER, F., et KITAI, R., *Ibid.*, **60**, 556, 1955.

Revue des livres

ART DE L'INGÉNIEUR

GLASSTONE, Samuel: *Principles of Nuclear Reactor Engineering*. Pp. IX + 861. Macmillan and Company Limited, Londres. 1956. 60s.

Cette œuvre magistrale, parue sous l'égide de la Commission d'Energie Atomique des Etats-Unis, représente une addition de valeur à la littérature toujours croissante destinée aux ingénieurs de l'énergie nucléaire. Elle s'adresse à la fois aux spécialistes établis et aux étudiants nouvellement diplômés ou en passe de l'être. Le Dr. Glasstone a été aidé dans sa tâche par le personnel du Laboratoire National d'Oak Ridge et a fait une revue étendue et complète des principes scientifiques à la base de la conception, de la construction et du fonctionnement des réacteurs.

Un tiers du volume environ s'occupe de la physique fondamentale des réacteurs avec des chapitres sur les aspects correspondants des réactions nucléaires, des radiations et sur la théorie des réacteurs dans des conditions d'équilibre et de non-équilibre. On trouve ensuite l'étude de points particuliers tels qu'appareillage et commandes, traitement chimique du combustible, matériaux, protection contre les radiations et génération et transfert de chaleur. Il y a un chapitre sur les variables dans la construction, qui étudie un grand nombre de types possibles de réacteurs et décrit une série d'installations particulières.

Le plan est excellent. Chaque chapitre est suivi d'une liste de définitions des symboles utilisés dans le texte et d'une série de problèmes. Les notes bibliographiques et indications d'ouvrages à consulter sont nombreuses. Il y a aussi un bon index.

T. G. PICKAVANCE

ASTRONOMIE

PAYNE-GAPOSCHKIN, Cecilia: *Introduction to Astronomy*. Pp. X + 508. Eyre and Spottiswoode Limited, Londres. 1956. 50s.

Cet ouvrage est premièrement un manuel d'astronomie générale descriptive, mais l'auteur espère qu'il servira d'introduction au sujet pour l'étudiant des arts libéraux. S'intéressant elle-même aux langues, à l'histoire et à la littérature, Mme Payne-Gaposchkin s'est efforcée de mettre en relief leurs rapports avec l'astronomie. Le livre se lit donc plus facilement qu'un manuel et il intéressera certainement beaucoup le lecteur moyen amateur d'astronomie. On n'aura pas besoin de grandes connaissances de mathématiques ou de physique pour le lire avec profit.

L'astronomie moderne traite dans une très grande mesure des étoiles, de leurs propriétés et constitution, de leur répartition, de leur groupement en amas et en galaxies et de leur évolution, alors qu'on s'intéressait surtout autrefois au système solaire et à l'explication détaillée des mouvements des planètes, satellites et comètes. La plupart des manuels anciens n'accordent que peu de place aux étoiles. Ce nouveau volume rétablit l'équilibre et insiste sur les étoiles et leurs systèmes.

On y trouve un compte rendu bien proportionné de l'astronomie actuelle. Bon nombre d'idées courantes sur l'évolution des étoiles et des galaxies et diverses théories cosmologiques sont d'une nature provisoire et devront être abandonnées totalement ou en partie, comme le fait remarquer l'auteur. Leur place n'était peut-être pas dans un manuel de ce genre, mais peu importe si l'ouvrage est assez fréquemment remis à jour; il sera bon pour l'étudiant et l'amateur d'être au courant des idées actuelles.

Le livre est très bien illustré de nombreuses planches et diagrammes. Les photographies de planètes prises à l'Observatoire Lowell et celles de galaxies et d'étoiles tirées avec le réflecteur de 2,5 m ont un intérêt spécial.

H. SPENCER JONES

BIOCHIMIE

CAHN, Théophile: *La régulation des processus métaboliques dans l'organisme*. Pp. XII + 681. Presses Universitaires de France, Paris. 1956. 3000 fr.

Ce livre se propose d'étudier le contrôle exercé par les hormones sur les processus métaboliques ayant trait à la production d'énergie. Le chapitre d'introduction décrit les désordres causés expérimentalement par l'ablation de tissus de glandes endocrines ou par certains poisons comme l'alloxane. Le suivant, qui occupe plus de la moitié de l'ouvrage, traite de la circulation des métabolites et de sa régulation par les hormones. Cette étude comprend celle de la physiologie du sucre dans le sang, de l'absorption des graisses, des lipides du sang, des substances azotées et, très brièvement, de l'eau et des sels minéraux. Vient ensuite la description du mécanisme physiologique de la libération d'énergie et de l'interchangeabilité des hydrates de carbone, des graisses et des protéines. Le rôle du système nerveux dans la régulation du métabolisme n'est pas étudié.

L'auteur adopte tout au long le point de vue du physiologue classique. Les processus métaboliques intermédiaires ne sont que rarement décrits en détail et les enzymes sont à peine citées, même en ce qui concerne le mécanisme de l'action de l'insuline. La préface fait remarquer que c'est une limitation voulue et il est certain qu'en tant que compte rendu cohérent des 25 années de recherche de l'auteur le volume sera une addition de valeur à la littérature sur le sujet.

H. A. KREBS

Enzymes and Metabolism. Pp. 287. Elsevier Publishing Company, Amsterdam; Cleaver-Hume Press Limited, Londres. 1956. 47s. 6d.

Cette série de 32 articles originaux est dédiée à Carl et Gerty Cori à l'occasion de leur 60e anniversaire. L'un des auteurs au moins de chaque article a travaillé, ou travaille actuellement, au laboratoire Cori. Une introduction du Professeur Houssay fait un exposé captivant des recherches des deux savants ces 35 dernières années. Bien que le thème de leurs travaux ait été tout au long le métabolisme des hydrates de carbone, leurs méthodes d'approche ont été extrêmement variées, allant de l'expérimentation physiologique sur des organismes entiers jusqu'à la caractérisation chimique de métabolites, en passant par l'étude de tissus isolés et d'enzymes cristallines.

Cette collection d'articles de leurs collègues et élèves reflète l'activité des Cori et couvre une grande diversité de sujets. La plupart des articles sont des comptes rendus de progrès de travaux commencés, ou tout au moins conçus, au laboratoire de St. Louis. Les biochimistes souhaiteront en lire la plupart.

H. GUTFREUND

BIOLOGIE

HEILBRUNN, L. V.: *The Dynamics of Living Protoplasm*. Pp. VII + 327. Academic Press Inc., New-York. 1956. $6,50.

Le Dr. Heilbrunn a consacré toute sa vie à l'étude du protoplasme. Son premier article, cité ici, parut en 1915 et traitait des transformations physiques causées dans les œufs d'oursins

par les méthodes qui conduisent à la parthénogenèse artificielle. Certains des plus récents, écrits en collaboration avec W. L. Wilson, concernent essentiellement le même sujet: les changements dans le cytoplasme de l'œuf durant la maturation. L'ouvrage présente sous forme résumée les fruits de cette longue période d'étude poussée de la chimie des colloïdes et des propriétés physiques du protoplasme, tel qu'on le trouve dans une grande variété de cellules vivantes. Le point de vue exprimé est très individuel. On sait que le livre fut écrit au laboratoire pendant les intervalles entre les expériences et l'on sent parfois qu'il doit son origine à des séries de notes.

Il est presque entièrement consacré à l'exposé et à la défense des conceptions assez originales de l'auteur. Comme on le sait, le Dr. Heilbrunn attribue une importance spéciale à des réactions qui sont, paraît-il, de la même nature que la coagulation du sang et dépendent principalement de l'état du calcium dans l'organisme. Il explique ainsi un grand nombre des phénomènes essentiels de la cellule vivante. Tout le monde n'acceptera pas ces conclusions sans exception, mais il est intéressant de trouver ici une étude complète des travaux expérimentaux de l'auteur et des théories qu'il en a tirées.

C. H. WADDINGTON

BOTANIQUE

BÄRNER, J., sous la direction de: *Bibliographie der Pflanzenschutzliteratur*, 1951. Pp. XLIV + 420. Publié par Paul Parey, Berlin, pour la Biologische Bundesanstalt für Landund Forstwirtschaft, Berlin-Dahlem. 1955. DM. 38.

Cette bibliographie de la littérature sur la protection des plantes continue la série bien connue qui parut de 1914 à 1945; les volumes des années 1946–50 sont encore à paraître. Les 12 500 titres comprennent certainement à peu d'exceptions près tous les ouvrages parus en 1951, mais le livre n'est pas aussi facile à consulter qu'on le souhaiterait. Il y a un index d'auteurs, mais faute d'une table des matières détaillée, il faut se reporter à des entêtes groupant les titres. Ceux-ci sont bien classés pour les besoins courants. Les sections principales comptent d'abord les questions générales, puis les organismes et agents causes de maladies subdivisés en ordres et familles, les plantes hôtes et leurs parasites et les mesures de protection. Un tel arrangement permet de trouver facilement tous les titres se rapportant, mettons, aux crucifères nuisibles ou à la thérapeutique par les dérivés mercuriels, mais il ne donne pas de renseignements spécifiques. Il est impossible, par exemple, d'obtenir de références à un composé chimique donné et il faut connaître la place d'un organisme en systématique avant de découvrir son espèce. Une œuvre de ce genre est néanmoins toujours utile au bibliothécaire spécialisé. Le chercheur ayant besoin d'information plus précise ou plus à jour pourra se reporter aux nombreuses revues d'extraits qui limitent, dans une certaine mesure, la valeur de cette série bibliographique.

E. J. McNAUGHTON

GARRETT, S. D.: *Biology of Root Infecting Fungi*. Pp. XI + 293. Cambridge University Press, Londres. 1956. 30s.

Nous avons là un excellent exposé de la conception nouvelle et passionnante de la pathologie végétale appelée «garrettisme» par les anciens élèves et amis du Dr. Garrett. Celui-ci envisage les maladies de la racine non seulement comme des réactions mutuelles de deux organismes mais comme le résultat d'interactions au sein de facteurs écologiques interagissants. Il écrit avec l'espoir d'intéresser les pathologistes comme les biologistes et il est clair d'après la façon dont il apporte au laboratoire les problèmes des champs et applique aux champs les résultats des travaux de laboratoire, que le Dr. Garrett a un courage et une ténacité que beaucoup d'écologistes feraient bien d'imiter.

L'ouvrage formule et décrit un certain nombre de concepts généraux tels que le potentiel d'inoculation, le moment mycélien et la capacité de concurrence saprophytique. Les définitions font usage d'expressions telles que «énergie de croissance», «masse effective», «sommation de caractères physiologiques» qui, en dépit de leur manque de précision scientifique, rendent parfaitement l'intention de l'auteur. On gagnera beaucoup à essayer de définir à nouveau ces concepts plus exactement.

J. L. HARLEY

HORSFALL, James G.: *Principles of Fungicidal Action*. Pp. XIX + 279. Chronica Botanica Company, Massachusetts; The Chronica Botanica Company, Londres. 1956. $6,50.

On s'intéresse beaucoup depuis quelques années aux rapports entre la constitution chimique et l'activité fongicide et au mécanisme d'action des fongicides. Le Dr. Horsfall a joué un rôle de premier plan dans ces recherches et mérite maintenant la gratitude des phyto-pathologistes pour son compte rendu des travaux réalisés et son résumé de la situation actuelle.

L'ouvrage forme une suite naturelle au précédent, *Fungicides and their Action*. Les principes de méthodes de mesure de l'activité fongicide y sont étudiés à fond et certains aspects de la protection tels que l'application et la mobilisation des dépôts de fongicides sur les tissus végétaux sont envisagés. D'autres sections considèrent la pénétration des fongicides, l'effet des toxiques sur les phénomènes de croissance et le métabolisme des champignons parasites, et le mécanisme d'action de nombreux types reconnus de fongicides. L'étude d'ensemble du traitement systémique des plantes et les recommandations de l'auteur sur l'évolution probable des champignons résistants sont particulièrement intéressantes.

Le livre s'adresse au spécialiste et renferme une mine d'information, surtout sur les types de composés actifs. On regrette d'autant plus la présence de généralisations douteuses et d'une phraséologie relâchée. Les essais de vulgarisation ne sont pas non plus à leur place dans une œuvre de ce genre.

J. T. MARTIN

CHIMIE

ADAM, N. K.: *Physical Chemistry*. Pp. XII + 658. Clarendon Press, Oxford; Cumberlege, Londres. 1956. 50s.

On attendait ce livre du Professeur Adam avec impatience, car le dernier manuel de chimie physique destiné aux universités datait d'assez longtemps. Comme il était prévu, il est d'une clarté et d'une exactitude remarquables et l'équilibre entre l'expérience et la théorie est particulièrement bien maintenu. Un grand nombre de sections sont précédées de courtes introductions historiques, de présentation et de contenu excellents. L'auteur d'un manuel général de chimie physique doit décider du choix et de l'arrangement des sujets et de l'importance à donner aux exemples, questions fortement individuelles. Mais il semble regrettable que la théorie moderne des quanta ne reçoive ici qu'une attention superficielle; ainsi l'équation de Schrödinger n'est pas résolue même pour les systèmes les plus simples, bien que quelques dérivations classiques de complexité moyenne soient données au

complet. La structure des solides est traitée à fond (50 pages) avec de nombreux exemples, alors que l'ensemble de la thermodynamique et de la mécanique statistique n'occupe que 73 pages avec très peu d'exemples. Pareillement, le nombre d'exemples donnés sur les réactions photochimiques et le comportement des colloïdes pourra paraître excessif dans un ouvrage de cette taille. Ce sont là naturellement des questions d'appréciation personnelle et il n'y a aucun doute que l'œuvre du Professeur Adam aidera à éclaircir la chimie physique pour de nombreux maîtres et étudiants.

R. P. BELL

CAIRNS, T. L., publié sous la direction de: *Organic Syntheses*, Vol. XXXV. Pp. VI + 122. John Wiley and Sons Inc., New-York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1955. 30s.

Ce volume décrit en détail la synthèse de 36 composés organiques. Avec l'extraordinaire développement de la chimie organique ces dernières années, il faut s'attendre à ce que certaines des préparations n'aient qu'un intérêt limité; les synthèses sont toutefois souvent d'importantes applications de méthodes et de réactions nouvelles. On trouve par ailleurs plusieurs préparations améliorées de substances courantes, qui nous renseignent sur les appareils et les produits chimiques dont on dispose en Amérique. Ainsi, les colonnes à bande rotative sont utilisées pour des distillations fractionnées relativement simples; des quantités molaires de corps de base sont facilement accessibles et l'une des préparations demande une distillation à la vapeur produisant 36 litres d'eau.

Le style est, comme d'ordinaire dans cette série, clair et parfaitement adapté au but de l'œuvre. L'impression, le papier et la reliure valent ceux des volumes précédents. Le livre sera indispensable à tous les laboratoires de chimie organique progressifs.

J. C. SMITH

GUSTAVSON, K. H.: *The Chemistry and Reactivity of Collagen*. Pp. IX + 342. *The Chemistry of Tanning Processes*. Pp. IX + 403. Academic Press Inc., New-York; Academic Books Limited, Londres. 1956. $8 et $9 respectivement.

Le premier ouvrage utilise les recherches poussées de l'auteur sur le collagène pour servir de fond à une revue très compétente des connaissances sur sa structure et sa réactivité, essentielles en biochimie, en médecine et dans l'industrie du cuir. Le rôle joué par l'emploi des rayons X, du microscope électronique et de la biréfringence dans l'élucidation de la structure du collagène est clairement étudié, montrant les progrès réalisés depuis les premiers travaux d'Astbury. D'autres chapitres traitent des aspects isoélectriques du corps et de ses réactions avec les acides et les bases. La relation entre la liaison interne de la molécule de collagène et son hydratation est clairement démontrée par l'étude des effets de Donnan et lyotropiques. Il y a aussi des chapitres très poussés sur la contraction thermique du collagène et ses rapports avec les réactions de liaisons transversales ainsi que sur l'inactivation de groupes spécifiques pour l'étude de sa réactivité.

Le second livre a un intérêt moins général. Il traite de la chimie fondamentale du tannage mais ne décrit pas les changements survenant dans les peaux durant leur transformation en cuir. Néanmoins, les chapitres ayant trait à la chimie du tannage au chrome, aux effets des sels neutres et des agents formateurs de complexes et à la nature du composé chrome-collagène sont tout à fait remarquables. On trouve un grand nombre de renseignements intéressants sur le tannage végétal mais on n'insiste pas suffisamment sur certains facteurs, tels que les sels-tampon, qui règlent le procédé. Les tannages au syntan, aux aldéhydes, à la quinone, à l'huile et les tannages mixtes sont aussi étudiés. Le dernier chapitre fait un apport réel à nos connaissances sur la fréquence et le mécanisme des procédés de tannage dans le règne animal. Il rendra donc grand service à la science biologique et médicale.

D. BURTON

MICOVIC, V. M. et MIHAILOVIC, M. L.: *Lithium Aluminium Hydride in Organic Chemistry*. Pp. XI + 193. Académie Serbe des Sciences, Belgrade. 1955. $3.

L'hydrure d'aluminium-lithium contient une grande quantité d'hydrogène utilisable et, en solution dans de l'éther froid réduit aisément un grand nombre de groupes fonctionnels, d'ordinaire sans réactions secondaires. C'est toujours un sujet d'étonnement que les acides carboxyliques et les esters soient ainsi capables d'être réduits en alcools primaires et que les conditions soient si favorables que la racémisation de centres optiquement actifs ne se produit pas. Ses avantages sur les autres agents réducteurs sont tels que c'est maintenant le réactif le plus demandé. La monographie renferme 1732 notes bibliographiques allant jusqu'en 1954. Le livre sera très utile à tous ceux qui voudront utiliser l'hydrure d'aluminium-lithium.

Les cinq premières divisions de l'ouvrage traitent du réactif et de ses conditions d'emploi. Les 19 suivantes décrivent chacune la réduction d'un groupe particulier, dont les composés carbonylés, les acides, les esters, les lactones, les amides, les époxydes, les peroxydes, les nitriles et composés à base d'azote, d'halogènes et de soufre. Chaque section donne des exemples, abondamment illustrés de formules et de fréquents renvois à la littérature sur le sujet; il ne semble pas y avoir d'oublis. L'ouvrage se termine par une étude du mécanisme des réductions, un index complet de notes bibliographiques et une bonne table des matières. L'impression et la présentation sont remarquables.

W. BAKER

PASCAL, Paul, publié sous la direction de: *Nouveau traité de chimie minérale*, Vol. I. *Généralités, air, eau, hydrogène, deutérium, tritium, hélium et gaz inertes*. Pp. XII + 1101. Masson et Cie., Paris. 1956. Broché, fr. 7500; cartonné, fr. 8400.

On ne peut s'empêcher d'admirer le courage des auteurs du «Nouveau Traité de Chimie Minérale». Ses 19 volumes doivent paraître entre 1956 et 1960 et le directeur sera aidé par un groupe de spécialistes qui traiteront la chimie des éléments en question selon les conceptions modernes de la constitution atomique et moléculaire. Les détails techniques de procédés industriels, qu'on peut trouver dans des publications spécialisées, ne seront pas mis en évidence. La classification repose sur la table périodique, méthode qui expose le mieux les rapports des éléments entre eux. Le premier volume de la série renferme une introduction générale de quelque 384 pages sur des questions générales telles que l'emploi des diagrammes en chimie, les isotopes stables et radioactifs, la constitution de l'atome et les aspects importants de la chimie moderne de structure. Les divers chapitres sont illustrés d'excellents diagrammes et le texte est clair et précis. Le reste du Volume I est occupé par des exposés détaillés sur l'air, l'eau, l'hydrogène, le deutérium, le tritium, l'hélium et les gaz inertes. Les faits et les renseignements quantitatifs ont été choisis avec le maximum de discernement. Les renvois aux travaux originaux que l'on trouve en fin de chaque chapitre sont particulièrement utiles Le lecteur trouvera un compte rendu

de valeur des progrès réalisés jusqu'ici dans les sujets traités ainsi que de nombreux problèmes dignes d'attention sérieuse en chimie pure et appliquée. L'œuvre nouvelle débute bien.

W. WARDLAW

Peaceful Uses of Atomic Energy. Proceedings of the International Conference in Geneva, August 1955. Vol. XV, *Applications of Radioactive Isotopes and Fission Products in Research and Industry.* Pp. VIII + 327. United Nations, New-York; Her Majesty's Stationery Office, Londres. 1956. 54s.

Comme tous les autres volumes de ces comptes rendus, celui-ci est bien rédigé et de présentation excellente. Même les membres de la Conférence en tireront profit car il renferme aussi la moitié des articles qui n'ont pu être lus à Genève. La documentation nouvelle n'est pas très importante, comme il fallait s'y attendre, la publication de travaux sur les isotopes n'ayant jamais été restreinte et ayant été étudiée à des conférences antérieures sur les isotopes. Néanmoins, les 48 articles présentés constituent, avec fort peu de chevauchements un tableau représentatif de l'emploi des isotopes et produits de fission dans les nombreux domaines différents.

Un tiers s'occupent des applications des isotopes à la recherche, notamment à l'étude de réactions chimiques et catalysées, de l'analyse, des phénomènes d'absorption, de l'autoradiographie et de la diffusion. La seconde partie traite des isotopes dans le contrôle et la technologie; elle rendra certainement grand service à un grand nombre d'industries. La dernière section a trait à l'utilisation des produits de fission, encore au stade de la recherche et du développement. L'utilisation des radiations ionisantes est étudiée dans de nombreux domaines, surtout en ce qui concerne la stérilisation des aliments.

Les bibliothèques de recherche industrielle feront bien de se procurer le volume.

H. SELIGMAN

Peaceful Uses of Atomic Energy. Proceedings of the International Conference in Geneva, August 1955. Vol. VII, *Nuclear Chemistry and the Effects of Irradiation.* Pp. 691. United Nations, New-York; Her Majesty's Stationery Office, Londres. 1956. 70s.

Ce volume fait le compte rendu de 86 articles présentés à la Conférence de Genève en 1955 et des discussions qui suivirent. C'est donc essentiellement un ouvrage de référence pour spécialistes. Il rendra peut-être davantage service, toutefois, aux chercheurs de l'énergie atomique classique qui, tout en n'étant pas spécialistes d'énergie nucléaire, pourront profiter de ses articles d'ensemble très à jour et de sa richesse de faits et de chiffres. Les chimistes en général accueilleront bien la revue de la fission nucléaire par Steinberg et Glendenin et les articles sur la formation et les propriétés chimiques des nouveaux éléments (transuraniques). Les organiciens gagneront à consulter l'article sur les échanges d'anions par Kraus et Nelson et les articles japonais sur la chute des particules radioactives ont de la valeur en dehors du champ radiochimique.

Le titre et le mélange inattendu des sujets ne plairont peut-être pas aux spécialistes. La chimie nucléaire et les effets de l'irradiation sont des questions très différentes. Bon nombre d'articles n'appartiennent ni à l'une ni à l'autre; le maniement à distance, le plan des laboratoires, les séparations et les propriétés chimiques ne sont pas de la chimie nucléaire uniquement parce qu'il s'agit de corps radioactifs. Mais les lecteurs moins spécialisés accueilleront peut-être bien cette diversité.

F. BROWN

PHILLIPS, Courtenay: *Gas Chromatography.* Pp. X + 105. Butterworths Scientific Publications, Londres. 1956. 25s.

Le succès éclatant de la méthode chromatographique gaz-liquide inventée en 1952 par Martin et James a eu tendance à faire oublier que la chromatographie à gaz était connue depuis longtemps déjà. Cet exposé clair et équilibré d'un des premiers chercheurs dans ce domaine sera donc particulièrement le bienvenu. Le volume est modeste de taille et de présentation — peut-être davantage que son prix ne l'indique — mais il est très documenté et sa bibliographie complète facilitera des études plus poussées. Les possibilités de la méthode sont clairement définies et les diverses techniques expérimentales d'emploi courant sont bien décrites. L'exposé théorique n'est pas détaillé mais il est suffisant pour faire comprendre ce qui se passe dans la colonne selon les conditions existantes.

TREVOR I. WILLIAMS

TREYBAL, Robert E.: *Mass-Transfer Operations.* Pp. IX + 666. McGraw-Hill Book Company, Londres. 1955. 71s. 6d.

Les procédés manufacturiers concernent le plus souvent des systèmes où se produisent des changements intimement reliés d'état physique et de composition chimique avec accompagnement de transferts d'énergie et de masse d'une partie du système vers une autre. Les changements individuels s'effectuent à des vitesses caractéristiques déterminées par des forces motrices qui, dans le cas de transferts d'énergie, peuvent être des différences de température et, dans celui de transferts de masse, des dénivellations de concentration. C'est une des tâches de l'ingénieur chimiste que de découvrir le mécanisme de ces changements et de leur assigner des valeurs quantitatives.

Le livre du Professeur Treybal s'adresse en premier lieu aux étudiants et, pour cette raison, présente clairement et simplement la méthode d'approche quantitative des opérations impliquant un transfert de masse. Les 5 premiers chapitres présentent la théorie de la diffusion et du transfert de masse à la base de l'étude des opérations gaz-liquide, liquide-liquide et solide-fluide qui fait suite. De brefs aperçus sur les pratiques courantes dans l'établissement de plans d'installations donnent de la réalité à la partie théorique.

D. M. NEWITT

GÉOPHYSIQUE

AHRENS, L. H., RANHAMA, Kalervo et RUNCORN, S. K., publié par: *Physics and Chemistry of the Earth,* Vol. I. Pp. VIII + 317. Pergamon Press Limited, Londres. 1956. 55s.

Ce volume est le premier d'une série nouvelle qui intéressera particulièrement les géophysiciens et géochimistes. Chacun de ses huit articles, de sujets très divers, est une étude générale plutôt que particulière. Les spécialistes assez bien documentés n'y apprendront pas grand'chose de nouveau, mais le livre sera un utile ouvrage de référence car chaque collaborateur cite de nombreuses sources et offre une bonne bibliographie.

Sir Harold Spencer Jones fait un bref résumé des théories diverses sur l'origine du système solaire depuis celles de Kant et Laplace jusqu'aux dernières conceptions d'Alfvén et Kuiper. J. Verhoogen offre un exposé intéressant des idées et des faits les plus récents concernant l'état thermique du noyau terrestre. L'article est complété par celui de K. E. Bullen sur la structure générale de l'intérieur de la terre avec accent particulier sur la répartition

des densités. L. H. Ahrens étudie les diverses méthodes utilisant les rapports d'isotopes dans la détermination de l'âge géologique sans oublier les travaux les plus récents sur les isotopes du potassium-argon, du strontium-rubidium et du plomb. R. Hide discute l'hydrodynamique du noyau terrestre et examine particulièrement la possibilité de l'origine du champ magnétique terrestre dans les mouvements de ce centre fluide. R. Roy et O. F. Tuttle intéresseront surtout le minéralogiste et le géologiste par leur étude des résultats d'expériences effectuées dans des conditions hydrothermiques. C. W. Correns décrit les recherches sur la géochimie des halogènes tandis que S. I. Tomkeieff présente une revue et une bibliographie complètes des travaux récentes de géochimie dans l'Union Soviétique. P. M. DU BOIS

MÉTALLURGIE

Peaceful Uses of Atomic Energy. Proceedings of the International Conference in Geneva, August 1955. Vol. IX, *Reactor Technology and Chemical Processing*. Pp. x + 771. United Nations, New-York; Her Majesty's Stationery Office, Londres. 1956. 70s.

Ce volume intéressera surtout le chimiste et le métallurgiste. Il traite de la métallurgie et de la préparation des éléments combustibles, des milieux de transfert de chaleur en métal liquide et d'aspects chimiques de l'énergie atomique tels que la corrosion, le traitement des combustibles et des produits de fission ainsi que des problèmes posés par l'élimination des déchets.

Presque toute la documentation présentée a été traitée comme secrète pratiquement jusqu'à la date de la conférence de Genève et le coût de la recherche et des réalisations décrites s'est élevé probablement à plusieurs dizaines de milliers de livres. Il est significatif de constater à ce sujet que 53 des articles viennent des Etats-Unis, 16 de Grande-Bretagne, 16 d'autres pays européens et 3 seulement de l'U.R.S.S., proportion insignifiante à côté de la contribution soviétique sur des questions moins secrètes comme les études de radiations et la recherche sur les isotopes.

La grande majorité des articles auront une immense valeur pour le savant et le technologiste en énergie atomique. Mais un grand nombre de domaines nouveaux ont été aussi explorés: chimie et métallurgie des éléments rares, méthodes nouvelles d'analyse chimique et techniques nouvelles de chimie industrielle pour la séparation et purification de sels minéraux par extraction à l'aide de solvants. Beaucoup de ces traitements originaux, une fois perfectionnés, sont adaptables à d'autres branches de la recherche et de l'industrie. Les laboratoires de recherche et encore plus leur personnel auront tout à gagner à étudier de près cet excellent volume.

E. GLUECKAUF

PHYSIQUE

GUILD, J.: *The Interference Systems of Crossed Diffraction Gratings. Theory of Moiré Fringes*. Pp. VIII + 152. Clarendon Press, Oxford; Cumberlege, Londres. 1956. 25s.

Les franges «moirées», ainsi appelées à cause de leur ressemblance avec la soie moirée, se rencontrent souvent dans la superposition de motifs semblables et réguliers. Les franges formées par des motifs plutôt grossiers tels que ceux des tamis et des écrans d'imprimeurs peuvent s'expliquer par la géométrie simple, mais celles qui résultent du croisement de réseaux de diffraction n'ont pas été l'objet d'études critiques jusqu'ici, bien qu'elles aient été observées par Lord Rayleigh et utilisées par Sir Thomas Merton pour déceler les erreurs de réseau.

La monographie de M. Guild explore donc un terrain nouveau et en fait le relevé de main de maître. Elle offre une théorie générale de la formation des franges moirées, parfaitement adaptée à tous les genres de réseaux, qu'elles soient du type «fente et barre» ou «sillonné» et montre que les franges résultent de l'interférence de fronts d'ondes diffractés. Cette interférence peut produire une très grande variété de motifs fins selon la répartition d'énergie dans les divers ordres de diffraction des deux réseaux. L'explication théorique est bien appuyée d'une série de photographies qui méritent de paraître sur une plus grande échelle.

L. A. SAYCE

KAYE, G. W. C. et LABY, T. H.: *Tables of Physical and Chemical Constants and some Mathematical Functions* (11e édition). Pp. XI + 233. Longmans, Green and Company, Londres. 1956. 25s.

Ce volume de Kaye et Laby n'a pas besoin d'être présenté, car depuis sa parution en 1911 de nombreuses générations d'étudiants et de chercheurs l'ont trouvé indispensable. Ses deux auteurs ne sont malheureusement plus parmi nous, mais cette nouvelle édition préparée par un petit comité sous la direction du Professeur N. Feather recevrait certainement leur approbation. Il y a naturellement beaucoup de modifications de détail et les progrès récents ont nécessité l'inclusion de tables qui ne figuraient pas dans les éditions antérieures, mais l'esprit de l'original n'a pas été perdu. On y trouve encore en particulier «des brefs résumés renvoyant aux ouvrages et articles à consulter» si utiles précédemment. C'est toujours une œuvre de référence de premier ordre et on en apprécie d'autant plus le prix modique.

TREVOR I. WILLIAMS

PRZIBRAM, Karl: *Irradiation Colours and Luminescence*, traduit et revu par J. E. Caffyn. Pp. XIV + 332. Pergamon Press Limited, Londres. 1956. 63s.

Cette version augmentée de l'édition allemande de 1953 a un grand intérêt historique. Elle renferme une vaste documentation rassemblée sur les minéraux naturellement colorés et sur les effets voisins dans les cristaux synthétiques. La partie descriptive est, cependant, souvent verbeuse et trop détaillée pour se lire facilement. Le traducteur s'est efforcé de moderniser l'ouvrage sans pouvoir en modifier le ton assez démodé qui n'encouragera pas les lecteurs modernes. Ainsi le traitement de la luminescence repose trop sur des idées dépassées et les nombreux renvois supplémentaires à la littérature ne pouvaient naturellement pas être étudiés suffisamment sans allonger considérablement le volume.

La partie I étudie les méthodes expérimentales, la production et l'élimination de centres colorés dans les cristaux synthétiques, avec la théorie correspondante. La luminescence est envisagée surtout dans la thermoluminescence des cristaux colorés et la photoluminescence des centres formés par les radiations. La partie II décrit les minéraux naturels, sel gemme et spath fluor en particulier, et appuie la thèse générale de l'origine des colorations constatées dans la radioactivité naturelle. Les parties les plus intéressantes sont peut-être celles sur la radioactivité naturelle, les terres rares comme activeurs et les halos pléochroïques, sans oublier la liste bibliographique qui compte environ 1300 titres depuis Hérédote jusqu'en 1954. S. T. HENDERSON

Brèves notices bibliographiques

(Ces notices sont plus descriptives que critiques et sont destinées à donner une indication générale de la nature et de la portée des ouvrages en question.)

HEITLER, W.: *Elementary Wave Mechanics* (2e édition). Pp. VIII + 193. Oxford, Clarendon Press; Londres, Cumberlege. 1956. 18s.

Seconde édition d'un ouvrage très populaire, réimprimé cinq fois depuis sa parution en 1945. Il n'exige pas de connaissances mathématiques. La nouvelle édition comprend une section sur les molécules diatomiques et les chapitres sur la liaison chimique ont été très développés. Il y a aussi une section nouvelle sur l'équation d'ondes reliées au temps.

MOORE, W. J.: *Physical Chemistry* (2e édition). Pp. XII + 633. Longmans, Green and Company, Londres. 1956. 30s.

Ce manuel de chimie physique, paru en 1950, s'adresse aux étudiants en sciences et aux futurs ingénieurs. Ce n'est pas un ouvrage élémentaire, car il demande une certaine connaissance du calcul infinitésimal et deux ans environ d'étude systématique de physique et de chimie. La nouvelle édition suit le plan général de la première, mais on trouve dans tous les chapitres des corrections de détail et des changements de présentation. Il y a un chapitre nouveau sur la photochimie et les découvertes récentes sur la constitution nucléaire, atomique et moléculaire sont incluses.

Cumming et Kay: «*Quantitative Chemical Analysis*» (11e édition), revue par CHALMERS, Robert Alexander. Pp. XVI + 540. Oliver and Boyd, Edimbourg et Londres. 1956. 30s.

Ce manuel bien connu d'analyse chimique quantitative, dont c'est la onzième édition, s'adresse surtout aux étudiants d'Université. La dernière édition parut en 1948 et ce nouveau volume a été entièrement revu. La section sur la colorimétrie a été rédigée à nouveau et un bref exposé de la théorie de la précipitation et de la contamination des précipités a été ajouté. Les courtes listes d'ouvrages à consulter sont nouvelles.

FIESER, Louis F. et FIESER, Mary: *Organic Chemistry* (3e édition). Pp. V + 1112. Reinhold Publishing Corporation, New York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1956. 50s.

Troisième édition d'un manuel populaire de chimie organique. Il a subi une révision complète et une bonne partie a été rédigée à nouveau de façon à inclure les nombreux perfectionnements théoriques et pratiques réalisés depuis la dernière édition (1950). On trouve un plus grand nombre de mécanismes de réactions étudiés et ceci, là où chaque réaction en cause paraît dans le texte. L'idée des 450 esquisses biographiques sur les grands chimistes du passé et de nos jours dont les œuvres sont discutées, a été empruntée à la traduction allemande de l'édition précédente.

GRAFF, Samuel, publié par: *Essays in Biochemistry*. Pp. X + 345. John Wiley and Sons Inc., New York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1956. 52s.

Ces vingt-sept essais sur une grande variété de sujets ont été rédigés par d'anciens étudiants et collègues de Hans Clarke en hommage à celui-ci à l'occasion de sa retraite. La plupart ne sont ni des revues, ni des comptes rendus d'expériences. Certains font l'évaluation critique de questions biochimiques actuelles, d'autres sont franchement spéculatifs. Tous font autorité et sont complétés par de bonnes bibliographies.

THORPE, W. H.: *Learning and Instinct in Animals*. VIII + 493. Methuen and Company Limited, Londres. 1956. 55s.

Les recherches éthologiques ont accusé récemment l'une ou l'autre de deux tendances. En Europe, on s'est attaché surtout à étudier l'instinct et en Amérique, la faculté d'apprendre, à l'aide de spécimens élevés en laboratoire. Ce livre représente un essai de fusion des deux points de vue sur le sujet. La première partie est surtout générale. Le reste de l'ouvrage passe en revue le rôle joué par l'apprentissage dans la détermination du comportement des principaux groupes animaux, des Protozoaires aux Mammifères.

CONSTANTIN-WEYER, M.: *The Private Life of Fishes*. Pp. 149. Richard Bell, Londres. 1956. 15s.

Ce compte rendu narratif de la vie et des mœurs des poissons est écrit dans un style facile à l'intention du naturaliste et du pêcheur. Il plaira également au lecteur courant. Parmi les points étudiés, citons la reproduction, la croissance, les migrations et la vision des poissons.

WOLSTENHOLME, G. E. W.: publié par, en l'honneur de Sir Henry Dale: *Histamine: Ciba Foundation Symposium*. Pp. XVI + 472. J. and A. Churchill Limited, Londres. 1956. 50s.

Ce livre fait le compte rendu d'articles présentés et des opinions échangées lors d'une réunion internationale de physiologistes et de pharmacologistes tenue à Londres en 1955. Il est divisé en deux parties. La première a trait à une conférence organisée en commun par la *Physiological* et la *Pharmacological Society;* la seconde, à une réunion moins officielle sur le même sujet sous les auspices de la Fondation Ciba. Les tendances actuelles de la recherche sur l'histamine et corps apparentés sont bien traitées.

WOLSTENHOLME, G. E. W. et O'CONNOR, Cecilia M., publié par: *Ciba Foundation Colloquia on Endocrinology*, Vol. IX, *Internal Secretions of the Pancreas*. Pp. XII + 292. J. and A. Churchill Limited, Londres. 1956. 40s.

Nous avons là le compte rendu d'un colloque sur les sécrétions internes du pancréas, organisé par la Fondation Ciba et tenu à Londres en juin 1955. Outre le texte des dix-sept articles présentés, on trouve le compte rendu complet de chaque discussion qui suivit. Le terrain traité est vaste et le volume rendra grand service aux chercheurs en médecine, biochimie et biologie.

CAMPBELL, I. E., publié par: *High-temperature Technology*. Pp. XIV + 526 John Wiley and Sons Inc., New York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1956. 120s.

La conférence sur les «Matériaux, méthodes et mesures des hautes températures» organisée par la *Electrochemical Society* en 1951 à Washington mit en évidence le besoin d'un ouvrage complet sur la technologie des hautes températures. Ce volume, œuvre de 35 collaborateurs, y répond. Il décrit les nouveaux matériaux, les méthodes de production et la mesure des propriétés physiques. Par hautes températures, il faut entendre supérieures à 1500°.

Notes biographiques sur les collaborateurs

F. P. BOWDEN,
C.B.E., Sc.D., F.R.S.,

Est né en Tasmanie en 1903. En 1927, il alla à *Gonville and Caius College*, Cambridge, dont il est maintenant Fellow et directeur d'études ainsi que chargé de cours de chimie physique. Pendant la guerre, il travailla pour le gouvernement australien et fonda à Melbourne le Laboratoire de Tribophysique de l'Organisation de Recherche Industrielle et Scientifique du Commonwealth. Ses propres travaux concernent les propriétés des métaux et des surfaces solides et la décomposition de l'état solide. Il a fait paraître *The Friction and Lubrication of Solids* (avec le Dr D. Tabor) et *The Initiation and Growth of Explosion in Liquids and Solids* (avec le Dr A. Yoffe). Il est vice-président de la *Faraday Society* et a reçu récemment les médailles Redwood et Cresson du *Franklin Institute* des Etats-Unis pour ses travaux sur la friction.

N. MILLOTT,
M.Sc., Ph.D.,

Naquit en 1912 et étudia aux Universités de Sheffield, Manchester et Cambridge. Fut maître de conférences de zoologie à l'Université de Manchester de 1938 à 1947. En 1948 il fut nommé à la chaire de zoologie au Collège Universitaire des Antilles britanniques, poste dont il démissionna en 1955 pour une chaire similaire à l'Université de Londres. Ses premières recherches portent sur l'appareil digestif des mollusques nudibranches, puis sur le contrôle nerveux des organes chez le lombric. Il a consacré ces huit dernières années à l'étude de la sensibilité à la lumière et à la pigmentation de divers animaux, échinides en particulier.

E. N. DA C. ANDRADE,
D.Sc., Ph.D., LL.D., F.R.S.,

Naquit à Londres en décembre 1887 et étudia aux Universités de Londres, Manchester et Heidelberg ainsi qu'au Laboratoire Cavendish à Cambridge. Il fut nommé professeur de physique à l'Université de Londres en 1928. A *University College*, il fonda une école de physique connue pour ses travaux fondamentaux sur les propriétés mécaniques des états solide et liquide. En janvier 1950 il fut nommé directeur de la *Royal Institution of Great Britain* et directeur du *Davy Faraday Research Laboratory*, mais il démissionna en 1952. Il est Membre Correspondant de l'Académie des Sciences de l'Institut de France.

J. M. M. PINKERTON,
M.A., Ph.D.,

Naquit à Londres en 1919 et étudia à *Trinity College*, Cambridge. Il prit part, pendant la guerre aux études sur le radar, au *Telecommunications Research Establishment* de Swanage et de Malvern. Revint à Cambridge en 1945 pour faire des travaux d'ultrasonique au Laboratoire Cavendish. Il est responsable depuis 1949 de la partie mécanique de la construction des calculateurs électroniques LEO I et LEO II. Il a publié, entre autres, divers articles sur l'absorption ultrasonique dans les liquides et sur les calculateurs électroniques.

JAMES PATON,
M.A., B.Sc., F.R.S.E.,

Naquit en 1903 et fit ses études à l'Université d'Edimbourg. Après une année au *Meteorological Office*, il revint en 1928 enseigner la physique à Edimbourg, où il devint maître de conférences principal en 1950 et professeur en 1954. Il est correspondant de la Section IV (aurore boréale et luminescence de l'air) du Comité national britannique pour l'Année Géophysique Internationale. Il est aussi directeur de la section de la *British Astronomical Association* s'occupant des aurores boréales et de la lumière zodiacale.

F. SANGER,
B.A., Ph.D., F.R.S.,

Né en 1918. Fit ses études à l'Université de Cambridge. Depuis l'obtention de ses diplômes en 1939, il fait des recherches au Département de Biochimie de cette Université. Il fut, de 1944 à 1951, titulaire d'une bourse de recherche médicale et fait partie depuis cette époque du *Medical Research Council* à titre d'externe. Ses travaux ont porté surtout sur la composition chimique des protéines et de l'insuline en particulier.

L. F. SMITH,
Ph.D.,

Né en 1927. Etudia à l'*Imperial College*, Londres. Fit des recherches sur la chimie de la laine dans cet établissement, puis passa au Département de Biochimie à Cambridge où il travaille actuellement à titre de membre externe du *Medical Research Council*.